Beiträge
zur Standorts-Charakterisierung,
dargestellt
an Fichtenbeständen des Schwarzwaldes.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

der

Naturwissenschaftlich-Mathematischen Fakultät

der

Universität Freiburg i. Br.,

vorgelegt von

Ernst Loebich.

1934

Druck: Handelsdruckerei C. Trute, Quakenbrück.

Rektor: Seine Magnificens Prof. Dr. Kern
Dekan: Seine Spektabilität Prof. Dr. Soergel
Referent: Professor Dr. M. Helbig

Tag der Einreichung der Arbeit: 8. Juni 1934.
Tag der mündlichen Prüfung: 22. Juni 1934.

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Inhalt.

Einleitung 1

Das Untersuchungsgebiet 2

Der geologische Aufbau 2

Das Klima 4

Die bekannten Standortsansprüche der Fichte und ihr Wurzelsystem 6

Die Auswahl der Probeflächen und die Probeentnahme . . 11

Zusammenstellung der Probeflächen 13

Die Untersuchungen im Laboratorium 22

Die chemischen Untersuchungen 25

Die physikalischen Untersuchungen 27

Zusammenstellung der Untersuchungsergebnisse 33

Der Stand der Kenntnisse und die Untersuchungsresultate . 44

Der Korngrößenaufbau 44

Das hygroskopische Wasser 51

Der Reaktionszustand des Bodens 52

Der Humusgehalt im Boden 57

Zusammenfassung und Schluß 59

Abkürzungen 62

Einleitung.

Das Bestreben, bei der Beurteilung eines Bodens vom Fingerspitzengefühl und der wortgebundenen Definition des vielerfahrenen Praktikers unabhängig zu werden, ist allgemein: Die Güte eines Bodens in Bezug zu irgend einer Pflanze soll durch Zahlenwerte definiert, und dadurch eine Normierung erstrebt werden. Den Bodenzustand als Ganzes in Einem zu erfassen ist nicht möglich; Komponenten dieses Zustandes müssen getrennt bestimmt, und aus diesen Befunden auf den Zustand selbst geschlossen werden. „Wenn wir Naturgegenstände dergestalt gewahr werden, daß wir uns eine Einsicht in den Zusammenhang ihres Wesens und Wirkens zu verschaffen wünschen, so glauben wir zu einer solchen Kenntnis am besten durch Trennung der Teile gelangen zu können; wie denn auch wirklich dieser Weg uns sehr weit zu führen geeignet ist . . . . Aber diese trennenden Bemühungen, immer und immer fortgesetzt, bringen auch manchen Nachteil hervor . . . . Es hat sich daher auch in dem wissenschaftlichen Menschen zu allen Zeiten ein Trieb hervorgetan, die lebendigen Bildungen als solche zu erkennen, ihre äußeren sichtbaren, greiflichen Teile im Zusammenhange zu erfassen, sie als Andeutungen des Innern aufzunehmen und so das Ganze in der Anschauung gewissermaßen zu beherrschen“ [1]).

Im Folgenden wurde versucht, Wachstumsfaktoren von Fichtenstandorten des Schwarzwaldes, ausgehend von früheren Erkenntnissen, zahlenmäßig darzustellen. Die Fichte wurde für diese Untersuchungen gewählt, weil diese Holzart hinsichtlich der Standortsgüte mit zu den relativ anspruchlosesten gehört, und ein klimatisch äußerst weit begrenztes Gebiet einnimmt [2]). Mayr [3]) führt sie als Holzart des Fagetum, Picetum und Alpinetum auf. Es ist daher anzunehmen, daß sie innerhalb eines gewissen Rah-

[1]) J. W. Goethe, Die Metamorphose der Pflanzen.

[2]) K. Rubner, Die pflanzengeographischen Grundlagen des Waldbaus. Neudamm 1926, S. 212.
Klein, Forstbotanik, H. d. F. 4. Aufl. 1926 Bd. I S. 695.

[3]) H. Mayr, Waldbau, 1. Aufl. 1909, S. 64 ff.

mens auf mineralchemische und klimatische Verschiedenheiten nicht stark reagiert. Dies Letztere ist besonders für Gebirgslagen wichtig, wo vom Klima der nächst gelegenen Beobachtungsstation nicht ohne weiteres auf das des Standorts geschlossen werden kann.

Das Untersuchungsgebiet.

Sämtliche Proben sind aus Fichtenbeständen des Schwarzwaldes entnommen, der nach Mayr [1]) in dieser Breite die Westgrenze des natürlichen Verbreitungsgebietes der Fichte in Europa bildet. Mit etwa 300 m ü. M. steigt er entlang der Rheinebene auf, erreicht im Norden in der Hornisgrinde mit 1164 m ü. M. und im Süden im Feldberg mit 1493 m ü. M. je seine höchsten Höhen und fällt nach Norden und Osten langsam gegen das Gebiet des Muschelkalks zu ab, an dessen Grenze er im Süden Höhen von 800 m ü. M. und im Norden von 400 m ü. M. erreicht.

Der geologische Aufbau.

Zwei petrographisch verschiedene Gesteine beteiligten sich hauptsächlich am Aufbau des genannten Untersuchungsgebiets: Granite und Gneise besonders im Westen und Süden und der Buntsandstein besonders im Norden und Osten. Wo Gneis bei den untersuchten Standorten das Grundgestein bildet, ist es Renchgneis. Er ist leicht verwitterbar und liefert einen von mehr oder weniger vielen kleinen und größeren Gesteinsscherben durchsetzten tiefgründigen, gelbbraunen Lehm. Die chemische Zusammensetzung des Gesteins ist seiner verschiedenen Herkunft wegen sehr wenig gleichmäßig. So fand Kummer [2]) bei den 18 bis dahin bekannten Bauschanalysen von Renchgneisen des Schwarzwaldes einen SiO_2-Gehalt von 59—81 % und einen entsprechenden Al_2O_3-Gehalt von 23—8 %. Ähnlich wechselnd ist der Gehalt an Basen und den übrigen Mineralien. Im groben Durchschnitt können etwa folgende Werte angegeben werden: K_2O 3 %; Na_2O 3 %; CaO 2 %; MgO 1 %; FeO u. Fe_2O_3 4 %; P_2O_5 u. MnO Spuren. Die für Waldböden besonders wichtige Base, das Calzium, findet sich in der Feinerde der aus diesen Gesteinen hervorgegangenen Böden nicht mehr, oder höchstens in Spuren, da es von dem im allgemeinen leicht verwitterbaren triklinen Feldspat herrührt. Trotzdem darf man den Boden wohl nicht als kalkfrei bezeichnen, da die verwitternden großen und kleinen Gesteinsscherben dauernd Lieferanten kleiner Kalkmengen sind.

[1]) H. Mayr, l. c. S. 163.

[2]) R. Kummer, Beitrag zur Kenntnis der Gneise des südlichen Schwarzwaldes, Diss. Freiburg i. Br. 1912.

Bildet Granit das Grundgestein, so sind, wie auch auf den geologischen Spezialkarten, verschiedene Granittypen nicht unterschieden worden. Nur die im St. Blasianer Gebiet liegenden Flächen konnten hinsichtlich ihres Muttergesteins in die von Prof. Dr. Wilser [3]) dort ausgeschiedenen Typen eingereiht werden. Alle untersuchten Granitböden sind tiefgründig, meist ganz ohne oder doch ohne nennenswerte Mengen an größeren oder kleineren Gesteinseinschlüssen. Neben feinsandigen Lehmböden fanden sich fast reine, wenig bindige grobsandige Böden und alle Zwischenstufen und Übergänge zwischen beiden. J. Roth [4]) hat für die chemische Zusammensetzung der Granite folgenden Typus berechnet: SiO_2 72 %; Al_2O_3 16 %; Fe_2O_3 und FeO 1,5 %; CaO 1,5 %; MgO 0,5 %; K_2O 6,5 %; Na_2O 2,5 %. Außerdem ist nach Rinne P_2O_5 bis 0,5 % wohl stets vorhanden. Ferner sei zu berücksichtigen, daß der Gehalt an SiO_2 je nach der Art des Granits zwischen 61 und 82 % liegen kann, und daß auch die Menge der Alkalien, oft in ein und demselben Granitgebiet, wechselt. Aus einem den Schluchseer Standorten benachbarten Bruch führt v. Bubnoff [5]) eine Analyse an. Danach enthält der Granit 72.0 % SiO_2, 14,1 % Al_2O_3, 0,1 % P_2O_5, 2,0 % FeO und Fe_2O_3, 1,1 % CaO 3,9 % Na_2O, und 6,8 % K_2O. Er ist also verhältnismäßig Na- und K-reich. Über die St. Blasianer Granittypen ist in dieser Hinsicht noch nichts Näheres bekannt [6]).

Von den Schichten des Buntsandsteins sind der Hauptbuntsandstein, das Hauptkonglomerat, und der Plattensandstein vertreten. Der Hauptbuntsandstein liefert im allgemeinen tiefgründige Sandböden, deren Tonerdegehalt oft zu gering ist, um den Böden Bindigkeit zu verleihen. Größere und kleinere verkieselte Steine und Blöcke findet man mehr oder weniger reichlich an der Oberfläche und als Bodeneinschlüsse. Die chemische Zusammensetzung dieser Böden ist charakterisiert durch das fast vollständige Fehlen der Feldspäte und den dadurch bedingten geringen Kaligehalt (0,8 %), ferner durch den geringen Gehalt an Eisen, Phosphorsäure, Kalk und Magnesium. Die Böden sind also in chemischer Hinsicht arm und infolge ihrer physikalischen Eigen-

[3]) Mündl. Mitteilung von Prof. Dr. Wilser, Freiburg i. Br. Der in Betracht kommende Typus ist der grobkörnige sog. St. Blasianer Granit.

[4]) Zit. nach F. Rinne, Gesteinskunde, 4. Aufl. 1914 S. 156.

[5]) S. v. Bubnoff, Der Werdegang einer Eruptivmasse. Fortschr. d. Geologie und Paläontologie. Bd. VII, Heft 20 S. 37.

[6]) Die Zusammensetzung der Granite des benachbarten Albtales wurde von H. H. Suter: Zur Petrographie des Grundgebirges von Laufenburg und Umgebung. Diss. Zürich 1924 und S. K. Ray: geological and petrographic studies in the Hercynian mountains around Tiefenstein southernblack forest Germany. Diss. Zürich 1925, eingehend untersucht.

schaften meist trocken. Der einzige aus dem Horizont des Hauptkonglomerats untersuchte Boden schließt sich ihnen in seinem physikalischen Aufbau an.

Der Plattensandstein stellt geologisch eine Schicht mehr oder weniger dünnplattiger, wohl geschichteter, im allgemeinen horizontal liegender, roter bis karmoisinroter Sandsteinplatten dar, mit Muskovitanhäufungen auf den Schichtflächen, und mit schiefertonigen Zwischenlagen. „Eine Eigentümlichkeit dieser Gesteine ist die großlinsenförmige Gestalt . . . man hat wirklich den Eindruck von langen, sich ablösenden Sandscharen, die durch Wogengang unter Wasser zusammengehäuft wurden und deren Vertiefungen mit anderem Material in diesem Fall dünnplattigeren und tonigeren Schichten ausgefüllt wurden“ [7]). Das Verwitterungsprodukt sind daher mehr oder weniger tonige, feinsandige, an den untersuchten Orten 1,0—1,5 m gründige Böden von brauner bis roter Farbe und wechselndem Glimmergehalt. Chemisch setzen sie sich vorwiegend aus SiO_2 und Al_2O_3 zusammen. Ca und Mg sind im Boden höchstens in Spuren nachzuweisen, das Kali ist an den schwerverwitterbaren Glimmer gebunden und daher für die Pflanze nur in geringen Mengen erreichbar. P_2O_5 ist, wenn auch nur in Spuren, so doch immer vorhanden [8]).

Das Klima des Schwarzwaldes.

Die 900 mm Isohyete grenzt im großen und ganzen den Schwarzwald gegen das Rheintal ab. Die größten Niederschlagsmengen finden sich naturgemäß in den beiden höchsten Erhebungen: Dem Massiv des Feldberggebiets im S. und dem Hornisgrinde-Ruhstein-Massiv im N. mit jährlichen Regenmengen bis 2000 mm. Die für den Schwarzwald regenbringenden Winde kommen aus SW bis NW, sodaß also der Westabfall Luv- die Ostabdachung Leeseite ist. Den Unterschied der Niederschlagsmenge zwischen Luv- und Leeseite gleicher Höhe gibt Peppler [9]) mit 400 mm bis 800 m ü. M. und mit 500 mm über 800 m ü. M. an. Wie wenig schematisch man jedoch mit diesen Zahlen umgehen darf, zeigt Kleinschmidt an dem Beispiel von Wildbad, das 430 m ü. M. in dem fast schluchtenartigen Enztal völlig in Lee des Schwarzwaldes gelegen ist und trotzdem nur 120 mm weniger Niederschlag hat als das in Luv gelegene Herrenalb-Gaistal [10]).

[7]) W. Deecke, Geologie von Baden, 1916, Bd. 1 S. 236.

[8]) M. Bräuhäuser, Über Vorkommen von Phosphorsäure im Buntsandstein, Jahreshft. d. Vereins f. Vaterl. Naturkde. in Württbg. 64 (1908) Anhang S. 1.

[9]) W. Peppler, Die Niederschlagsverhältnisse in Baden, Karlsruhe 1924.

[10]) Noch in anderer Hinsicht ist dieses Beispiel interessant, zeigt es doch, wie wenig u. U. die Niederschlagsmenge eines Ortes von seiner

Über den jährlichen Gang des Niederschlags gilt etwa folgendes: Im nördlichen Schwarzwald haben wir drei Maxima in den Monaten März, Juli und Dezember und drei dazwischen liegende Minima. Das Hauptmaximum liegt für die höheren Lagen im Dezember. Die tieferen Lagen, besonders gegen die Rheinebene, zeigen nur zwei Maxima im März und Oktober, größere Winterniederschläge fehlen dort wie in der Ebene. In den Gebirgslagen des südlichen Schwarzwaldes haben wir wieder ein in Luv stark in Lee schwächer ausgeprägtes Hauptmaximum im Dezember mit sekundären Maxima im März, Juli und Oktober und dazwischen liegenden Minima. In den Vorbergen dagegen liegt das Hauptmaximum im Juli, die sekundären Maxima im März und Oktober. Der mittlere Schwarzwald verhält sich ähnlich dem nördlichen, jedoch ohne starke Betonung der Winterniederschläge.

Die Schneeverhältnisse des Gebirges beschreibt Schultheiß folgendermaßen [11]): „Eine geschlossene Schneedecke bildet sich im Schwarzwald zum ersten Male etwa Ende Oktober, doch verschwindet sie in der Regel bald wieder; erst später bleibt der Schnee länger liegen und im ausgehenden Winter in den mittleren Lagen im Februar, in ganz hohen sogar erst im März, werden die größten Höhen erreicht. Mitte April ist in der Regel aus dem größten Teil des Schwarzwaldes die geschlossene Schneedecke verschwunden, auf den höchsten Bergen aber erst im Juli . . . . Im Durchschnitt ist der Schwarzwald in Höhen über 700 m an mehr als 100 Tagen, beim Feldberger Hof an 169 Tagen mit Schnee bedeckt."

Über die Temperaturverhältnisse sind wir für den badischen Teil des Gebirges [12]) sehr wenig unterrichtet, da sich nur 21 Beobachtungsstationen in dem gebirgigen Lande befinden, sind keine Isothermenkarten vorhanden. Nur für das Klima von Freiburg liegt eine allgemeine Darstellung vor [13]), in der für Freiburg eine thermische Anomalie von $+4^{0}$ C. angegeben ist und das Klima durch folgende Hauptmerkmale charakterisiert ist: Gemäßigte Temperatur, bedeutende Luftfeuchtigkeit zu allen Jahreszeiten, am meisten im Spätherbst und Winter, am geringsten im April und im Mai, reichliche Niederschläge zu allen Jahres-

---

Meereshöhe abhängt. Wildbad hat mit 430 m ü. M. nur 30 mm weniger Niederschläge als die in 700 m ü. M. gelegene Beobachtungsstation Dobel.

[11]) Zit. nach Fr. Oltmanns, Das Pflanzenleben des Schwarzwalds, 3. Aufl. 1927 S. 195.

[12]) W. Peppler, Die Temperaturverhältnisse von Baden. Karlsruhe 1924.

[13]) A. Franz. Vergleichende Untersuchungen über das Klima von Freiburg i. Br. und Rom. Diss. Freiburg i. Br. 1915, S. 8 und 58.

zeiten mit schwach ausgeprägtem Maximum im Sommer, vorherrschen langandauernder Landregen, bedeutende Bewölkung in allen Jahreszeiten (Bewölkungsgrad im Sommer 5,0, im Winter 7,0). Freiburg ist hiernach ein Vertreter maritimen mitteleuropäischen Klimas, während der Hochschwarzwald nach Schultheiß Jahresdurchschnittstemperaturen zeigt, wie wir sie erst wieder in Mittelschweden und den Ostseerandstaaten finden. Die auffälligste Erscheinung im Hochschwarzwald ist aber die im Winter eintretende Temperaturumkehr. Liegt in den mittleren und tiefen Lagen ruhige Winterkälte, so haben wir auf den höchsten Höhen bedeutend wärmere Lufttemperaturen. Daher kommt es, daß die in mittleren Lagen gelegenen Stationen Donaueschingen und Villingen die tiefsten Wintertemperaturen erreichen und nicht die höchsten Stationen. Im Dezember 1879, dem kältesten Monat des vorigen Jahrhunderts, wurde in den Tagen vom 16.—28. folgende Temperaturen gemessen: Höchenschwand 0,6°, Freiburg — 10,2°, Villingen — 14,7°, während es in Höchenschwand zum Beispiel normalerweise etwa 3° kälter sein sollte als in Freiburg.

Aus der Isothermenkarte für den württembergischen Anteil [14]) des Schwarzwaldes ist zu ersehen, daß eine langsame Temperaturzunahme vom Kniebis nach NW zu stattfindet. Es erreicht jedoch weder der höchste Punkt, der Kniebis, so tiefe Temperaturen wie der Feldberg, noch ist das Klima des südwestlichen Teils der Abdachung so mild, wie das in Freiburg. Der Temperaturunterschied zwischen Kniebis und Liebenzell beträgt nur etwa 1,7°. Das Klima dieses Gebietes ist also im großen und ganzen viel ausgeglichener und einheitlicher.

Leider sind alle angegebenen Werte Durchschnittswerte aus vielen Jahren. Es fehlen Angaben über die extremen Werte der einzelnen Monate und ihr Schwanken in dem Beobachtungszeitraum. Aber gerade ihre Kenntnis [15]) wäre zusammen mit lokalen, sehr dichten Beobachtungen besonders wichtig als klimatische Grundlage für solche Arbeiten.

Die bekannten Standortsansprüche der Fichte und ihr Wurzelsystem.

Als Standortseigenschaften, die die Fichte zu gutem Gedeihen benötige, nennt Gayer [1]): Kühle Lufttemperatur bei hoher, jedoch nicht stehender Luftfeuchtigkeit. Was den Boden betrifft, so

[14]) Kleinschmidt. Die durchschnittliche Temperaturverteilung in Württemberg 1826—1900. Dtsch. Meteor. Jahrb. f. 1924.

[15]) s. L. Fabricius. Fw. Ctrbl. 1931, S. 842.

[1]) K. Gayer, Waldbau, 4. Aufl. 1898, S. 32 ff.

meide sie strengen und bindigen Boden ebenso wie lockeren, grobkörnigen Geröllboden. Mittlerer Lockerheitsgrad, konstantes hohes Maß von Bodenfeuchtigkeit, besonders in den obersten Schichten, sei zu gutem Gedeihen erforderlich. Dagegen sei die Fichte, was Tiefgründigkeit betrifft, die anspruchsloseste Holzart. Sie sei zwar nicht gleichgültig gegen den Reichtum an mineralischer Bodennahrung, jedoch sei das Gedeihen in erster Linie eine Frage gleichmäßiger Luft- und Bodenfeuchtigkeit. Und Mayr [2]) schreibt: Alle Fichten verlangen guten und frischen Boden, begnügen sich aber wegen ihrer seichten Bewurzelung mit geringer Bodentiefe [3]). Als klimatische Faktoren nennt er: Für die Sommermonate Mai bis August 600—800 mm Niederschlagsmenge, und eine Durchschnittstemperatur von 10—14°. Die jährliche Durchschnittstemperatur gibt er mit 3—7° an und die frostfreie Periode von Mai bis September. Für die Nordgrenze, sowie die Höhengrenze in Skandinavien gibt Enquist [4]) an, daß an 65 Tagen die Durchschnittstemperatur von 12,5° überschritten werden muß. Die Kälteforderung der Fichte verlange, daß im Sommer die Maximumtemperatur 24° während mehr als 65 Tagen nicht überschreite, und daß der Winter mehr als 120 Frosttage aufweise. Er fügt jedoch hinzu (S. 195), daß eine gewisse Vorsicht bei derartigen Bestimmungen deshalb beobachtet werden müsse, weil auch andere Faktoren als mangelnde Sommerwärme einschränkend auf die Ausbreitung der Fichte wirken können. Beim Betrachten des natürlichen Verbreitungsgebiets der Fichte kommt Dengler [5]) zu dem Schluß, daß die Pflanze das winterkalte Kontinentalklima besiedelt hat. „Auf den eigentlichen Gebirgsböden im Süden ihres Verbreitungsgebiets kommt sie auf den verschiedensten Gesteinsarten vor, ohne die eine oder die andere merkbar zu bevorzugen oder zu meiden . . . . sie ist also in ihrer Verbreitung auf die verschiedensten Gesteinsarten durchaus nicht wählerisch, verlangt aber zu gutem Gedeihen doch wenigstens mittelkräftigen anlehmigen Boden. Auf geringerem kommt sie nur dann fort, wenn ihr reichliche, dauernde Bodenfrische geboten wird [6]). Oelkers [7]), der Böden von Fichtenertragsprobeflächen zusammengestellt hat, fand, daß 1 Bestand auf Feinsand, 28 auf lehmigem Sand, 31 auf sandigem Lehm, 35 auf mildem Lehm und

[2]) H. Mayr, Waldbau, 1. Aufl. 1909, S. 162.

[3]) s. auch Hess, Holzarten, 3. Aufl. 1905, S. 239.

[4]) Fr. Enquist, Trädgränsundersokingar, Svensca skogsvårdsföreningens tidskrift, 1933, Hft. 2.

[5]) A. Dengler, Waldbau, 1930, S. 65 f.

[6]) s. auch Warming-P. Gräbner, Lehrbuch der ökologischen Pflanzengeographie 1918, S. 328.

[7]) J. Oelkers, Waldbau, I, S. 11 u. 12.

5 auf strengem Lehm stockten. I und II Bonität fand er auf sandigem Lehm, III und IV Bonität auf lehmigem Sand. Zahlenmäßig wurde der Einfluß verschiedener Bodenarten auf das Wachstum von Fichten nur noch für ganz junge Individuen festgestellt. So untersuchte Henne [8]) 8—9jährige Pflanzen, die drei Jahre lang in Versuchsbeeten mit vier verschiedenen Bodenarten [9]) gewachsen waren. Setzte er die höchste Produktionsleistung, d. h. die des lehmigen Tonbodens gleich 100, so erhielt er folgende Vergleichszahlen: Ton = 100, Humus = 89, und Sand = 66. Badoux [10]) dehnte später diese Versuche auf acht Böden verschiedenen Grundgesteins aus [11]). Nach vierjährigem Wachstum in den Versuchsbeeten erhielt er, wieder die höchste Produktionsleistung des Tonbodens gleich 100 gesetzt, folgende Vergleichszahlen: Ton = 100, Kreidekalk = 86, Gneis = 85, Jurakalk = 69, Bündtner Schiefer = 44, Verrucano = 40, Flysch = 35 und Sand = 25. Endlich hat Möller [12]) bei seinen Humusdüngungsversuchen das Wachstum der Pflanzen kontrolliert und bei Fichten, die 12 Jahre in den Versuchsbeeten gewachsen waren, folgende Höhen [13]) gemessen: Auf reinem Sand 30 cm, auf reinem Humus 375 cm, auf Humus über Sand 225 cm, auf Sand über Humus 100 cm; auf einer Mischung von Sand und Humus 150 cm.

Am einheitlichsten sind bei allen Autoren die klimatischen Standortseigenschaften der Fichte charakterisiert worden. Dagegen gehen die Ansichten über die zu gutem Wachstum beanspruchten Bodeneigenschaften auseinander. Während Gayer das Gedeihen der Fichte weniger von der Bodengüte als vielmehr vom Klima abhängig macht, verlangt sie nach Mayr mineralkräftigen Boden. Dieser Ansicht schließt sich auch Ebermayer an [14]),

---

[8]) A. Henne, Untersuchungen über das Wachstum junger Fichten, Weißtannen und Lärchen auf verschiedenen Bodenarten, Expositionen und Neigungsgraden. Mitt. d. schweiz. Centr. f. d. f. Versw. Bd. II (1892) Hft. 1 u. 2.

[9]) Über die Herkunft der verschiedenen Böden, s. A. Bühler, Der Versuchsgarten im Stadtwald Adlisberg bei Zürich, l. c. Bd. I (1891) S. 20.

[10]) H. Badoux, Untersuchungen über das Wachstum auf verschiedenen Bodenarten, l. c. Bd. IV (1895) S. 175.

[11]) alle Böden mit Ausnahme des im Versuchsgarten anstehenden Tonbodens waren unmittelbar aus dem Schutt von Steinbrüchen entnommen.

[12]) A. Möller u. E. Hausendorff, Humusstudien, Z. f. F. u. J. 1921 S. 789.

[13]) Die Werte für „reiner Humus" und „Humus über Sand" stellen Maximalhöhen dar, die übrigen Durchschnittshöhen.

[14]) Ebermayer, Die naturgesetzlichen Grundlagen des Wald- und Ackerbaues. I. Teil, Bd. 1 (1882) S. 756.

nach dessen Untersuchungen „ein starker Holzzuwachs der Fichte nur dann erwartet werden kann, wenn die Bonität des Bodens" — vor allem bedingt durch die darin enthaltenen Mengen von Kali, Phosphorsäure und Stickstoff — „nicht wesentlich geringer ist als für Buchen und Weißtannen". Neben hinreichendem Kali müsse ein guter Fichtenboden einen entsprechenden Kalkgehalt besitzen. Die Rolle des Humus für das Wachstum besonders der jungen Pflanzen erhellt eindeutig aus den verschiedenen Versuchen. Auch die physikalische Beschaffenheit der Fichtenböden wird, wenn man die Versuche von Henne und Badoux, als eine zu kurze Zeitspanne umfassend, außer Acht läßt, im allgemeinen übereinstimmend so beurteilt, daß gutes Gedeihen auf sandigen Lehmen gefunden wird, und daß strenge, bindige Böden, sowie lockere Sandböden (diese auch schon in der Jugend) langsameres Wachstum zeigen.

Die hier durch Mayr und Gayer zum Ausdruck gekommene alte Auffassung von der Ausbildung eines flachen Tellerwurzelsystems durch die Fichte wurde von Vater [15]) und Hilf [16]) für Mineralbodenstandorte widerlegt. Hilf fand auf trockeneren Sandböden und lockeren Gebirgsböden neben den vom Stamm ausgehenden, meist in geringer Tiefe, z. T. auf der Trennfläche zwischen Mineralboden und Bodenstreu verlaufenden Horizontalwurzeln senkrecht von diesen abgehende sogenannte Abläufer, die bis 75 cm Tiefe vordrangen. Noch größere Tiefen erreichten vom Stamm selbst ausgehende, nach Art der Pfahlwurzeln gebildete starke Wurzeln. Da sich bei den hier untersuchten Standorten Böden mit und ohne Trockentorfauflage finden und die Entwicklung des Wurzelsystems bis zu einem gewissen Grade durch das Bodenprofil bedingt ist [17]), so wurde der jeweiligen Ausbildung des Wurzelsystems besondere Aufmerksamkeit geschenkt.

Wenn von mir auch keine Ausgrabungen vorgenommen worden sind, so sind doch durch die hier untersuchten Profile so viele Durchwurzelungsräume angeschnitten worden, daß allgemeine

---

[15]) H. Vater, Die Bewurzelung der Kiefer, Fichte und Buche, Th. f. J. 1927 S. 65.

[16]) H. H. Hilf, Wurzelstudien an Waldbäumen, 1927.

E. Laitakari: Die Wurzelforschung in ihrer Beziehung zur praktischen Forstwirtschaft. Act. for. Fenn. 33 (1929) spricht bei der Fichte nur von flachstreibenden Horizontalwurzeln, erwähnt aber die Abläufer nicht.

[17]) N. A. Kachinsky, Root system of plants in soils of the podzol type. Second intern. Congr. of soil sience. Vol. 1, pg. 165. Danach besteht nicht nur ein Zusammenhang zwischen dem Umfang des Wurzelsystems und der Bodenart bei zunehmender Bonität des Waldbodens (Laitakari l. c. S. 12), sondern auch zwischen dem Wurzelsystem und dem Bodentyp.

Schlüsse auf die Architektur des Wurzelsystems der Fichte auf den verschiedenen Standorten des Schwarzwalds gemacht werden können.

Auf den Böden ohne Trockentorfauflage entsprach die vertikale Ausbildung des Wurzelsystems etwa den Angaben, die schon Bühler [18]) über die Bewurzelung von älteren Fichten in geschlossenen Beständen nach den an Bodeneinschlägen in württembergischen Versuchsflächen vorgenommenen Messungen macht. Die vom Stamm ausgehenden Horizontalwurzeln finden sich meist auf der Trennfläche zwischen Moder und Mineralboden und in dessen oberstem Teile. Da sie, wie Hilf [19]) angibt, für die Ernährung des Baumes vor allem in Betracht kommen, wurde die Zone ihrer Verbreitung (bis etwa 15 cm) als Zone I (Hauptdurchwurzelungszone) ausgeschieden. Von diesen horizontalen Wurzeln gehen senkrecht in den Boden sehr reichliche Abläufer, die den Horizont der sichtbaren Einschwemmung organischer Substanz durchdringen und an seiner Grenze (bei etwa 45 cm) zum größten Teil ihr Tiefenwachstum einstellen. Der Raum der Abläuferverbreitung wurde als Zone II ausgeschieden. Die Durchwurzelung fällt wegen des vertikalen Wurzelverlaufs besonders stark auf und steht in der Intensität meist nicht hinter Zone I zurück, ist aber von ihr durch einen schmalen Streifen getrennt, in dem die Abläufer noch nicht verzweigt sind, und der daher undurchwurzelt erscheint. Unterhalb Zone II in Zone III finden sich nur noch vereinzelte stärkere und unverzweigte Wurzeln, die wohl weniger der Nahrungsaufnahme als der Befestigung des Baumes auf seinem Standort dienen. Der angegebenen Grenze der letzten Wurzel ist also bei ihrer geringen Anzahl keine allzu zuverlässige Genauigkeit beizumessen, sie kann einwandfrei nur durch Ausgrabungen bestimmt werden.

Ganz anders ist die Ausbildung des Wurzelsystems auf Standorten mit Trockentorfauflagen [20]), wobei es gleichgültig ist, ob der Trockentorf auf durchlässigem grobem Bleichsand oder auf schwerdurchlässigem tonigen Feinsand aufliegt. Hier fanden sich in der Hauptsache nur die horizontal streichenden Hauptwurzeln, die durch Ausbildung von zahlreichen Nebenwurzeln besonders in den oberen Teilen den Trockentorf [21]) in

---

[18]) A. Bühler, Waldbau, Bd. 1, 1918 S. 459.

[19]) H. H. Hilf, l. c. S. 17 u. 96.

[20]) Über die Bewurzelung der Fichte auf reinen Humusböden s. Priehäusser, Fw. Ctb. 1931 S. 845.

[21]) Die Frage, ob diese Art der Wurzelverbreitung durch günstige Ernährungsverhältnisse im Trockentorf bedingt ist, oder durch ungünstige Bodenverhältnisse in der Bleichsandzone muß hier offen bleiben.

einem dichten Geflecht durchziehen [22]). Abläufer in den meist ausgebleichten Mineralboden waren selten, etwas häufiger nur dort, wo eine wesentliche Beimengung makroskopisch sichtbarer organischer Bestandteile zu der Bleicherde beobachtet werden konnte. Mit dem Abklingen dieser Beimengung hörte auch die Durchwurzelung auf. Stärkere unverzweigte Wurzeln, wie sie auf anderen Standorten in Zone III beobachtet werden konnten [23]), waren hier bei keinem Profil zu finden. Die tiefsten Wurzeln waren überall vereinzelte, tiefer gedrungene Abläufer. Hauptdurchwurzelungszone ist also auf diesen Standorten immer und nur der Trockentorf. Zone II und III spielen für den Baum eine untergeordnete Rolle.

Probefläche und Probeentnahme.

Die Fichte entwickelt, wie Hilf [1]) zeigt, „den aufnahmefähigen Teil der Wurzeln außerhalb des Kronenbereichs des einzelnen Stammes". Da sie somit ihre Nahrung aus weit entfernten Gebieten (nach Vater bis 18 m) aufnimmt, und ihren Standraum nicht voll ausnützt [2]), war es nicht geboten, möglichst kleine Bestandesstellen [3]), in deren Mittelpunkt sich jeweils das zu untersuchende Bodenprofil befindet, auszuscheiden, durch Stammanalysen den genauen Gang des Wachstums festzustellen, und auf Grund solcher Wachstumskurven die zu vergleichenden Flächen auszusuchen. Dies hätte eine unnötige Verfeinerung für diese erste orientierende Arbeit bedeutet, deren scheinbare Genauigkeit durch die vagen Angaben über das standörtliche Klima aufgehoben worden wäre. Es kam also vielmehr darauf an, nicht zu kleine Standorte (mindestens 0,25 ha) zu finden [4]), deren Bestandsaufbau,

---

Das Vorkommen und die natürliche Verjüngung der Fichte auf reinen Humusböden sprechen mehr für die erste Erklärung.

[22]) s. im Gegensatz dazu: Franz Hartmann, Die Fichtenwirtschaft auf ebenen Lehmgebieten der Oststeiermark, Ctrbl. f. d. g. Fw. 1927 S. 38.

[23]) Hilf, l. c. S. 97, gibt sie auch für Moorböden an.

[1]) H. H. Hilf l. c. S. 96.

[2]) H. Vater l. c. S. 81 gibt für über dreißigjährige Fichten Längenausdehnungen der Hauptwurzeln von 2,5—9 m an. Dagegen nützt aber die Fichte das von den aufnehmenden Wurzeln durchwachsene Bodenvolumen sehr viel besser aus als z. B. die Lärche. Siehe M. Schreiber, Zur Frage: Saat oder Pflanzung der Lärche, Ctrbl. f. d. g. Fw. 1926, S. 96 ff.

[3]) F. K. Hartmann, Kiefernbestandstypen des norddeutschen Diluviums 1929, S. 29.

[4]) A. Dengler l. c. S. 270 nennt die Bestände und nicht die einzelnen Baumindividuen die Einzelteile und Bausteine des großen Waldgebäudes.

sowie Bodenprofil und Gründigkeit, innerhalb der einzelnen Bonität möglichst einheitlich und einander entsprechend sind. Daher wurden stärkere Hanglagen nur in Ausnahmefällen herangezogen, Bestände gegen das freie Feld dagegen nicht. Da ferner die Bonität nicht durch unzweckmäßige und unregelmäßige menschliche Eingriffe beeinflußt werden durfte, ebenso auch nicht durch Kalamitäten gelitten haben sollte, wurden besonders Versuchsflächen der württembergischen und badischen forstlichen Versuchsanstalten in Betracht gezogen.

Die nach Lage und Bestand [5]) ausgesuchten Flächen wurden zuerst mit dem Bohrstock auf Gleichmäßigkeit überprüft. Stimmten die Ergebnisse der einzelnen Bohrungen miteinander überein, so wurden zwei Profile [6]) an entgegengesetzten Punkten der Fläche möglichst bis auf das gewachsene Grundgestein oder doch bis in sein Verwitterungsprodukt ausgehoben. An beiden Profilen wurden die Proben in den entsprechenden, für die Beurteilung des Bodens und die Ernährung der Pflanze wichtigen Zonen entnommen und in Leinensäckchen verpackt, wobei Steine über Haselnußgröße sofort entfernt und nur die Häufigkeit ihres Vorhandenseins vermerkt wurde.

Die bei Entnahme der Bodenprobe auf der Fläche vorgefundenen Pflanzen wurden aufgenommen. An Hand dieser Listen war es möglich [7]), für die Flächen des Württembergischen Schwarzwalds die jeweilige Zugehörigkeit zu den von v. Gaisberg und Schmid für dieses Gebiet aufgestellten Florentypen [8]) festzustellen.

---

[5]) Auf die Rassenfrage ist dabei nicht eingegangen worden.

[6]) T. V. Aaltonen, Über die Möglichkeit einer Bonitierung der Waldstandorte mit Hilfe von Bodenuntersuchungen. Act. for. fenn. 34 (28) fordert (S. 10) für 100 qm Untersuchungsfläche 5 Probeentnahmen zu Vergleichsuntersuchungen.

[7]) Nach Mitteilung von Herrn Forstmeister Schmid, Obertal.

[8]) E. v. Gaisberg und H. Schmid, Über Fichtenstandortstypen in Württemberg. Forstarchiv 1933 S. 59.

Zusammenstellung der Probeflächen.

Im Folgenden sind die Aufzeichnungen bei der Aufnahme der Probeflächen tabellarisch zusammengestellt, wobei für die Beschreibung der Bodenprofile folgende Abkürzungen benützt wurden:

Bl. Sd.	Bleichsand
grobk.	grobkörnig
Hum. hum.	Humus, humos
kr.	karmoisinrot
Lm. lm.	Lehm, lehmig
Pla.	Platten
schw.	schwach
Sd. sd.	Sand, sandig
St. st.	Steine, steinig
Trtf.	Trockentorf
Tn. tn.	Ton, tonig
w.	wenig

Nr.	Lage	Geol. Schicht	Niederschlag Mittel	Temp. Mittel	Bodenprofil	Bon.	Alter	Florentyp bzw. Flora	Bewurzelung nach Zone in cm	Bemerkungen
1.	Herrenalb-Ost. V, 13. 730 m ü. NN. N. 3 %.	S.O.	jährl. 1290 sommerl. 650	jährl. 7,1 sommerl. 12,6	A_0 2 cm Moder A_1 16 cm hum. lm. Sd. A_2 35 cm lm. Sd. B 15 cm lm. Sd. C bis 85 cm kr. l. Sd.	I	94j.	Ox. Myrt.	I 2—15 cm II 15—55 cm III bis 70 cm	Untergrund durchlässig, leicht bearbeitbar.
2.	Neuenbürg Vers. Fl. 180. 650 m ü. NN. SSO. 8 %.	S.O.	jährl. 1150 sommerl. 650	jährl. 7,2 sommerl. 12,8	A_0 3 cm Moder A_1 35 cm hum. lm. Sd. mit wenig St. B 18 cm gelbroter Sd. m. w. St. C bis 85 cm kr. lm. Sd. m. wenig St.	I	88j.	Ox. Myrt.	I 2—20 cm II 20—50 cm III bis 70 cm	Untergrund durchlässig, leicht bearbeitbar.
3.	Liebenzell Vers. Fl. 158. 550 m ü. NN. NO. 7 %.	S.O.	jährl. 920 sommerl. 520	jährl. 7,6 sommerl. 13,1	A_0 bis 2 cm Nd. A_1 20 cm hum. lm. Sd. B 27 cm roter lm. Sd. m. w. St. C 60 cm kr. lm. Sd. m. vielen St. u. Pla. C 5 cm Tonschicht zw. d. Platten.	I	61j.	Ox. Myrt.	I 3—35 cm II 35—50 cm III bis 110 cm	Untergrund undurchlässig, nach unten schwerer zu bearbeiten.
4.	Gemwld. Herbholzheim II, 15. 430 m ü. NN. S. 10 %.	S.O.	jährl. 1000 sommerl. 600	nicht angegeben	A_0 1 cm Nd. A_1 25 cm hum. sd. Lm. bis 130 cm rotbraun. Lm.	II	80j.	fel. mas. ox. acet. Hyloc. spl. Cath. und. Breitbl. Gr.	I 2—15 cm II 15—40 cm III bis 65 cm	Untergrund undurchlässig, etwas Druckwasser.

5.	Freudenstadt III, 29. 870 m ü. NN. NO. 7 %.	S.O.	jährl. 1560 sommerl. 780	jährl. 6 sommerl. 11,4	A_0 9 cm Trtf. A_1 21 cm Bl. Sd. B 35 cm gelber C bis 90 cm kr. lm. Sd. m. w. St.	IV	115j.	Myrt. Lor. Sphagn.	I 1—8 cm II bis 23 cm	Untergrund leicht durchlässig.
6.	Klosterreichenbach Vers. Fl. 111. 770 m ü. NN. WNW. 4 %.	S.O.	jährl. 1250 sommerl. 600	jährl. 6,5 sommerl. 11,9	A_0 8 cm Trtf. A_1 7 cm hum. lm. Sd. bis 95 cm kr. sd. Lm. geg. die Tiefe zunehm. Steingeh.	IV	106j.	Myrt. Lor. Sphagn.	I 3—15 cm II 15—50 cm III bis 88 cm	Untergrund schwer durchlässig, Profil nach unten schwer zu bearbeiten.
7.	Freudenstadt III, 29. 865 m ü. NN. NO. 5 %.	S.O.	jährl. 1560 sommerl. 780	jährl. 6 sommerl. 11,4	A_0 10 cm Trtf. A_1 25 cm hum. Bl. Sd. bis 80 cm feinsd. Tn.	V	108j.	Myrt. Lor. Sphagn.	I 2—8 cm II bis 12 cm	Untergrund nicht durchlässig, sehr schwer zu bearbeiten.
8.	Obertal Vers. Fl. 124. 830 m ü. NN. SSO. 36 %.	S.M.	jährl. 1800 sommerl. 900	jährl. 6,2 sommerl. 11,5	A_0 8 cm Trtf. A_1 37 cm Bl. Sd. B 19 cm Orterde m. vielen St. C bis 85 cm schwach lm. Sd.	V	137j.	Vacc. Lor. Sphagn.	I 1—8 cm II bis 35 cm	Untergrund durchlässig.
9.	Klosterreichenbach Vers. Fl. 114. 800 m ü. NN. NW. 38 %.	S.M.	jährl. 1340 sommerl. 670	jährl. 6,5 sommerl. 11,9	A_0 8 cm Trtf. A_1 12 cm hum. Bl. Sd. A_2 20 cm Bl. Sd. A_3 60 cm roter Sd. B_1 30 cm Orterde B_2 10 cm mit horiz. Platten verk. Ortstein	V	123j.	Vacc. Lor. Sphagn.	I 1—8 cm II 8—20 cm III bis 110 cm	Flechtenbehang.

Nr.	Lage	Geol. Schicht	Niederschlag Mittel	Temp. Mittel	Bodenprofil	Bon.	Alter	Florentyp bzw. Flora	Bewurzelung nach Zone in cm	Bemerkungen
10.	Klosterreichenbach Vers. Fl. 113. 830 m ü. NN. NW. 26 %.	S.M.	jährl. 1340 sommerl. 670	jährl. 6,5 sommerl. 11,9	A_0 15 cm Trtf. A_1 14 cm hum. Bl. Sd. A_2 91 cm Bl. Sd. m. einigen St. B 2 cm Ortstein m. St. C abwärts St.-Platten m. tn. Zw. Sch.	V	123j.	Vacc. Lor. Sphagn.	I 2—15 cm II 15—29 cm III bis 100 cm	Untergrund undurchsässig, Flechtenbehang.
11.	Hirsau Vers. Fl. 264. 665 m ü. NN. NNW. 4 %.	S.O.	jährl. 965 sommerl. 470	jährl. 7,0 sommerl. 12,5	A_0 24 cm Trtf. A_1 16 cm ausgebl. Kiebsand B_1 30 cm graugelb. Ksd. m. einigen gr. St. B_2 bis 110 Übergang zu norm. C-Horizont des S. O.	V	20j.	Calluna.	I 3—20 cm II bis 30 cm	Untergrund undurchlässig bei 44 cm Druckwasser, Nebellage.
12.	St. Blasien IV, 9. 950 m ü. NN. N. 10 %.	Gn.	jährl. 1540 sommerl. 700	jährl. 6,0 sommerl. 11,2	A_0 1,5 cm Nd. A_1 30 cm hum. sd. Lm. B 65 cm lm. Sd. C bis 115 cm schw. lm. Sd.	I	90j.	fel. fem. Vacc. myrt. Tussil. farf. Ox. acet. Hypn. spl. Dicr. scop. Mnium und.	I 2—10 cm II 10—50 cm III bis 100 cm	Untergrund undurchlässig, Prof. leicht bearbeitbar, leichter Flechtenbehang.

13.	St. Blasien IV, 9. Vfl. 59. 950 m ü. NN. NNW. 5 %.	Gn.	jährl. 1540 sommerl. 700	jährl. 6,0 sommerl. 11,6	A_0 3 cm Trtf. A_1 37 cm hum. sd. Lm. B 58 cm lm. Sd. C bis 195 cm schw. lm. Sd. m. etw. St.	I	92j.	Vacc. myrt. Pol. form. und Dicr. scop. in dichter Decke.	I 1—15 cm II 15—50 cm III bis 85 cm	Untergrund durchlässig, Prof. leicht bearbeitbar.
14.	Schluchsee II, 7. Vfl. 96. 1090 m ü. NN. NW. eben.	Gr.	jährl. 1200 sommerl. 600	jährl. 5,5 sommerl. 10,5	A_0 1,5 cm Nd. A_1 30 cm hum. lm. Sd. B 30 cm sd. Lm. C bis 85 cm schw. lm. Sd.	II	40j.	Dicr. und. scop. Hypn. spl. Schreb. Vacc. myrt.	I 1—25 cm II 25—50 cm III bis 70 cm	Untergrund schwer durchlässig, Profil nach unten schwer zu bearbeiten.
15.	Freiburg VIII, 3. 560 m ü. NN. N. 9 %.	Gn.	jährl. 870 sommerl. 540	jährl. 9,9 sommerl. 15,5	A_0 1 cm Nd. A_1 30 cm hum. lm. Sd. B bis 75 cm sm. Lm. m. zunehm. St.	II	50j.	Ox. acet. Viol. silv. Lucula sehr spärl.	I 2—30 cm II 30—50 cm III bis 70 cm	Untergrund durchlässig, Prof. leicht bearbeitbar.
16.	Emmendingen Gemwld. Sexau. 350 m ü. NN. NW. 18 %.	Gn.	jährl. 1000 sommerl. 600	nicht anzugeben	A_1 15 cm hum. sd. Lm. B_1 35 cm sd. Lm. m. etw. St. B_2 bis 90 cm lm. Sd. m. zunehm. St.	II	75j.	Gal. lut. Urt. ur. Viola Stellaria Ger. Robert Hieratium Blechoma	I 1—20 cm II 20—40 cm III bis 60 cm	Untergrund durchlässig. Von 40 cm an sehr steinig.
17.	Schluchsee II, 10. 1040 m ü. NN. W. 7 %.	Gr.	jährl. 1200 sommerl. 600	jährl. 5,5 sommerl. 10,5	A_0 4 cm Trtf. A_1 18 cm hum. sd. Lm. B_1 15 cm sd. Lm. B_2 77 cm grobk. lm. Sd. B_3 bei 110 cm dünne tn. Sd.-Schicht	II	40j.	Dicr. und. scop. Hypn. spl. Schreb.	I 1—10 cm II 10—35 cm III bis 100 cm	Untergrund undurchlässig.

Nr.	Lage	Geol. Schicht	Niederschlag Mittel	Temp Mittel	Bodenprofil	Bon.	Alter	Florentyp bzw. Flora	Bewurzelung nach Zone in cm	Bemerkungen
18.	Schluchsee II, 15. Vfl. 76 1040 m ü. NN. SO. 5 %.	Gr.	jährl. 1200 sommerl. 600	jährl. 5,5 sommerl. 10,5	A_1 30 cm hum. sd. Lm. B_1 20 cm sd. Lm. B_2 70 cm lm. Sd. C bis 150 cm schw. lm. Sd.	II	40j.	Dicr. und. scop. Hypn. spl. Schreb. Hyloc. triquet.	I 1—25 cm II 25—50 cm III 50—65 cm	Untergrund schwer durchlässig. Nach unten schwerer zu bearbeiten.
19.	St. Blasien Vers. Fl. 67. 990 m ü. NN. NO. 15 %.	Gr.	jährl. 1540 sommerl. 700	jährl. 6,0 sommerl. 11,2	A_0 3 cm Nd. A_1 32 cm hum. lm. Sd. B 65 cm lm. Sd. C bis 110 cm schw. lm. Sd.	II	62j.	Hypn. spl. Aira Lucula	I 1—5 cm II 5—40 cm III bis 95 cm	Untergrund durchlässig. Flechtenbehang.
20.	St. Blasien IV, 6. 990 m ü. NN. NO. 15 %.	Gr.	jährl. 1540 sommerl. 700	jährl. 6,0 sommerl. 11,2	A_0 3 cm Nd. A_1 30 cm hum. sd. Lm. B 59 cm sd. Lm. C bis 95 cm lm. Sd.	III	62j.	Fast geschl. Hypn. Decke Aira	I 1—8 cm II 8—40 cm III bis 90 cm	Prof. leicht bearbeitbar, Flechtenbelag.
21.	St. Blasien II, 1. 1040 m ü. NN. S. 10 %.	Gr.	jährl. 1540 sommerl. 700	jährl. 6,0 sommerl. 11,2	A_0 13 cm Trtf. A_1 18 cm hum. lm. Sd. B 82 cm lm. Sd. C bis 115 cm Sd.	IV	90j.	Fast geschl. Vacc. myrt. Decke	I 1—18 cm II 18—28 cm III bis 88 cm	Untergrund durchlässig und schwerer zu bearbeiten.
22.	St. Blasien II, 4. 1060 m ü. NN. S. 15 %.	Gr.	jährl. 1540 sommerl. 700	jährl. 6,0 sommerl. 11,2	A_0 8 cm Trtf. A_1 17 cm hum. lm. Sd. B 35 cm lm. Sd. C bis 85 cm Sd.	IV	60j.	Vacc. Myrt.	I 1—3 cm II 3—30 cm III bis 62 cm	Untergrund durchlässig, von 60 cm ab schwerer zu bearbeiten.

23.	Schluchsee II, 4. 1070 m ü. NN. W. 10 %.	Gr.	jährl. 1200 sommerl. 600	jährl. 5,5 sommerl. 10,5	A_0 15 cm Trtf. A_1 18 cm hum. lm. Sd. B 128 cm lm. Sd. C bis 155 cm grobk. Sd.	IV	110j.	Vacc. Myrt. V. vit. Id. Hypn. spl.	I 1—12 cm II 12—30 cm III bis 85 cm	Untergrund durchlässig.
24.	Schluchsee II, 3. 1050 m ü. NN. SO. 25 %.	Gr.	jährl. 1200 sommerl. 600	jährl. 5,5 sommerl. 10,5	A_0 15 cm Trtf. A_1 15 cm hum. lm. Sd. B 130 cm schw. lm. Sd. C bis 160 cm grobk. Sd.	IV	80j.	Vacc. Myrt. V. vit. Id. Call. vulg. Dicr. und. scop.	I 1—15 cm II 15—35 cm III bis 51 cm	Untergrund durchlässig.
25.	Schluchsee II, 12. 1030 m ü. NN. NW. 10 %.	Gr.	jährl. 1200 sommerl. 600	jährl. 5,5 sommerl. 10,5	A_0 20 cm Trtf. A_1 20 cm hum. Bl. Sd. B_1 10 cm Oerterde B_2 70 cm lm. Sd. C bis 105 cm verkitteter Sd.	IV	110j.	Vacc. Myrt. V. vit. Id. Hypn. Schreb. Hyl. triquet.	I 1—20 cm II 20—40 cm III bis 45 cm	Untergrund undurchlässig. Die wenigen Ta des Bestands sterben ab. Unter 45 cm einige tote Wurzeln.
26.	St. Blasien II, 2. 1090 m ü. NN. SSO. 2 %.	Gr.	jährl. 1540 sommerl. 700	jährl. 6,0 sommerl. 11,2	A_0 15 cm Trtf. A_1 20 cm hum. lm. Sd. B bis 85 cm lm. Sd.	IV	120j.	Vacc. Myrt.	I 1—10 cm II 10—35 cm III bis 75 cm	Untergrund durchlässig. Lockerer als II, 4. Die wenigen Ta. und Bu. des Bestands gehen ein. Auffallend magere Kronen.
27.	Ettenheim I, 10. 430 m ü. NN. O. 9 %.	S.O. (Löss)	jährl. 1000 sommerl. 600	nicht angegeben	A_1 25 cm hum. Lm. B bis 85 cm schwere Lm.	II	60j.	Ox. acet. Asper. odor gz. vereinzelt.	I 2—15 cm II 15—25 cm III bis 50 cm	Untergrund undurchlässig. A-Horizont leicht bearbeitbar. B-Horizont sehr schwer bearbeitbar.

Aus dieser Zusammenstellung der untersuchten Standorte geht hervor, daß alle Flächen g u t e r Wuchsleistung Braunerdeprofile zeigen. Am ausgeprägtesten wurden sie bei Gneisböden gefunden, weniger ausgeprägt bei Buntsandsteinböden, bei denen die karmoisinrote Farbe des Gesteins nur bei Profil Nr. 1 ganz zugunsten eines gelb-braunen Waldbodens verschwunden ist. Bei allen anderen Buntsandsteinprofilen aber, besonders bei dem ganzen Profil Nr. 4, tritt diese Farbe des Gesteins in den einzelnen Schichten mehr oder weniger deutlich hervor [1]).

Der A-horizont ist bei allen Flächen verhältnismäßig gleichstark entwickelt, etwa 30—45 cm tief. Das besagt für die Fichte, daß ihre Abläufer fast in der ganzen Zone ihrer Verbreitung einen an organischen Stoffen reichen Boden vorfinden, der besonders durch die günstigen Wasserverhältnisse aller dieser Standorte ständig frisch ist. Man kann nämlich beobachten, daß die Ableitung des Niederschlagswassers bei den lehmigen Buntsandsteinböden durch die relative Durchlässigkeit des Untergrunds gewährleistet ist [2]), während bei den sogenannten durchlässigen Böden des Granits meist in geringerer oder größerer Tiefe eine undurchlässigere Schicht ansteht, die das rasche Durchsikern des Niederschlagswassers hemmt, und es den Wurzeln verfügbar erhält. Trotz verschiedener Durchlässigkeit der oberen Bodenschichten ist also die Wasserführung in den für die Fichtenwurzeln wichtigen Zonen durch den Gesamtaufbau der Profile im großen und ganzen gleichartig und für die Fichte günstig. Dies ist auch bei den wenigen Gneisböden der Fall. Die oft in großer Anzahl vorhandenen Gesteinsscherben setzen dort, zusammen mit den Glimmerstückchen, das leichte Austrocknen des Bodens und das Ausschwemmen der Feinerde herab.

Dieser Einheitlichkeit der Profile guter Standorte gegenüber fällt die verschiedenartige Ausbildung der Profile s c h l e c h t e r Standorte auf. Hier steht nirgends eine Schicht an, die die Wasserführung der für die Fichtenwurzeln in Betracht kommenden Zonen günstig beeinflussen könnte. Die lockeren Sandböden bleiben — im Buntsandsteingebiet wie im Gebiet des Urgebirgs — bis zum Untergrund gleichmäßig durchlässig, oder werden sogar noch

---

[1]) Dies deutet darauf hin, daß das Eisen, das die einzelnen Bodenkörner überzieht, in einer besonders stabilen und widerstandsfähigen Form auftritt, die wohl durch die geologische Bildung der Schicht erklärbar ist. Mit HCl versetzt nehmen alle diese Böden die gleiche helle Farbe von Quarzkörnern an.

[2]) Bei den beiden Profilen Nr. 3 und Nr. 4 ist dies nicht der Fall, jedoch läßt hier das Klima eine über optimale Einwirkung des Wasserfaktors nicht wahrscheinlich erscheinen.

grobsandiger, sodaß sie alle, trotz der hohen Niederschläge als wasserarm gelten können. Dazu kommt noch im Buntsandsteingebiet die Neigung zur Ausbildung des Podsoltyps. Bei den sandigen Böden habe ich ihn fast immer angetroffen, wenig dagegen bei den tonigen; auf sandig verwitterndem Granit nur einmal, obwohl alle diese Böden seit Generationen mit Fichten bestockt sind, zum Teil Trockentorf tragen und in einem Gebiet hoher Niederschläge liegen[3]). Neben diesen durchlässigen Sandböden tragen auch die dicht gelagerten und im allgemeinen schwerdurchlässigen tonig verwitternden Böden des oberen Buntsandsteins oft schlechte Bonitäten. Der gleichmäßig karmoisinrote glimmerreiche Boden wird dann gegen die Tiefe zu meist stetig dichter, ohne daß Horizonte in der üblichen Weise ausgeschieden werden könnten.

Was das Klima[4]) der Standorte betrifft, so genügt die Temperatur wohl überall den Forderungen, die Mayr für das Picetum aufgestellt hat. Das Gleiche gilt im großen und ganzen für die Niederschlagsmengen. Sie bleiben nur bei Profil Nr. 3 in ihrer sommerlichen Höhe etwas hinter dem Normalen zurück. Da die Daten aber für die einzelnen Standorte von der jeweils nächst gelegenen Station übernommen wurden, dürfen sie nur zur Orientierung in großen Zügen benutzt werden. Exakte Angaben über das Standortsklima können nicht gemacht werden. Dieses wird abweichend von dem der nächsten Beobachtungsstation durch die Höhe, die Geländeausformung und die Art der Bestockung des Bodens beeinflußt. Eine Aufstellung von Meßgeräten bei den Forstämtern, wie dies der holländische Professor Ham[5]) für nötig hält, wäre daher verfehlt.

---

[3]) H. Harrassowitz, Studien über mittel- und südeuropäische Verwitterung, Geol. Rdsch. Bd. 17 a, findet in den von ihm untersuchten Gneisböden des südlichen Schwarzwalds bis 1200 m ü. M. ebenfalls nur Braunerde, während die Profile eines dort liegenden isolierten Gebiets von mittlerem Buntsandstein zeigen, daß Podsolierung in dieser Gegend an sich möglich ist.

[4]) Von der üblichen Berechnung des Regenfaktors wurde abgesehen, weil die zur Berechnung nötigen Daten nicht standörtlich gewonnen werden konnten, weil ferner der Einfluß des Windes bei der Berechnung außer acht gelassen wird. Außerdem konnte Köhne (Forschung und Fortschritte, 10. Jahrg. Nr. 6 S. 71) nachweisen, daß für die natürlichen Grundwasserschwankungen von Jahr zu Jahr der Einfluß der Niederschläge durchaus vorherrscht, der Einfluß der Temperatur aber ganz zurücktritt, da die Jahressumme der Verdunstung nur wenig schwankt, die der Niederschläge aber ganz verschieden groß ist.

[5]) Ham, Jahresbericht des Deutschen Forstvereins 1932, S. 389.

Untersuchungen im Laboratorium.

In der Literatur finden sich verschiedene Faktoren verzeichnet, die für das Wachstum des Waldes als allein ausschlaggebend bezeichnet worden sind. Ihre Vielheit und Verschiedenheit zeigt deutlich die Vielfältigkeit des Irrtums gegenüber der Pedosphäre als einem dynamischen System. Dieser oder jener Faktor kann bei dem jeweils untersuchten Profil mitbedingend für das Wachstum sein, die Resultate dieses Grenzfalls aber zu verallgemeinern, ohne die übrigen Bedingungen genügend zu würdigen, muß notwendig zu Fehlern führen.

In der Hauptsache sind es der physikalische Aufbau und die chemische Zusammensetzung [1]), auf deren Bestimmung die Forscher bei der Untersuchung eines Bodens abheben [2]), und innerhalb deren sie den die Wuchsintensität bestimmenden Faktor zu eruieren suchen. So findet Schütze [3]) bei diluvialen Sandböden, daß der Gehalt an Phosphorsäure und solchen Basen, welche als wesentliche Nährstoffe der Pflanze zu betrachten sind, proportional ihrem Ertragsvermögen ist. Diesen Gedanken nimmt Hackmann [4]) wieder auf, wenn er sagt, daß der Anteil der leichtlöslichen Phosphorsäure das Fichtenwachstum besonders beeinflusse [5]). Er gibt für die Untergrenze der Fichtenertragsklasse II einen Zahlenkomplex an, dessen einzelne Komponenten zwar im Gleichgewicht miteinander stehen sollen, dessen wesentlichster Faktor jedoch eben diese leicht lösliche Phosphorsäure ist, da „die Abweichung eines Faktors nach geringer, ohne Ergänzung, ein Absinken der Ertragsklasse unter II aus Anlaß der Phosphorsäure" zur Folge habe [6]).

Die im letzten Grund auf die Anschauungen Liebigs zurückgehende Arbeit von Schütze fand durch Vogel v. Falkenstein eine

---

[1]) H. Bortels (Über die Katalase der biologischen Stickstoffverbindungen, Zbl. f. Bakt. 1933, Nr. 17—23, S. 476) glaubt sogar, daß die Fruchtbarkeit eines Bodens allein durch seinen Molybdängehalt bestimmbar sei, da dieser die Stickstoffbindung durch Azotobakter stark befördert.

[2]) J. Hazard (Landw. Jahrb. 1900, S. 825) hält eine Bonitierung allein nach Wasser und Wärme für durchführbar, da sie die beiden wichtigsten Faktoren des Pflanzenlebens darstellen, hinter denen die Frage nach dem Düngungszustand erst in dritter Linie in Betracht komme.

[3]) W. Schütze, Beziehungen zwischen chemischer Zusammensetzung und Ertragsfähigkeit des Waldbodens. Z. f. F. u. J. 1871, S. 367.

[4]) Hackmann, Phosphorsäuregehalt von Waldböden und Fichtenwachstum, Mitt. a. Fwt. u. Fws. I (1930) S. 242.

[5]) Zur Kritik s. M. Lorey, A. F. u. J. Z. 1931, S. 436.

[6]) Oelkers, l. c. S. 35.

Ergänzung dahingehend [7]), daß bei mineralchemisch gleichem Bodenmaterial die vorhandenen Stickstoff- und Humusmengen allein die Fruchtbarkeit eines Bodens bedingen. Auch andere Forscher [8]) haben sich gegen die Auffassung, viel Mineralnährstoffe bedingten großen Pflanzenertrag, gewandt, einmal weil Wasser und Temperatur eine für die Ernährung der Pflanze gar nicht zu unterschätzende Rolle spielen, dann auch, weil bei der Bestimmung durch den Salzsäureauszug nicht nur die für die Pflanze verfügbaren Nährstoffe aus dem Boden gelöst werden, und weil durch die Bauschanalyse nur der prozentuale Anteil der Grundstoffe des Bodens angegeben wird, nicht aber ihr für die Pflanze so wichtiges Vorhandensein in aufnehmbarer Form. Außerdem ist ja bekannt, daß die Pflanze befähigt ist, geringste Mengen eines Mineralanteils für sich nutzbar zu machen und auch einen im Minimum vorhandenen Nährstoff beim Aufbau bis zu einem gewissen Grad durch einen anderen zu ersetzen [9]). Endlich findet Vater [10]), der sich mit dem Ausreichen der Nährstoffe auf Fichtenstandorten beschäftigt hat, auf Grund eigener und fremder Versuche, daß im allgemeinen außer Stickstoff nur Phosphorsäure im Mindestmaß vorhanden sei, und bei Buntsandsteinböden außer Stickstoff noch der schon im Gestein fast fehlende Kalk.

Die chemische Bodenanalyse ist also nicht imstande, allein über die Ertragsfähigkeit eines Standorts, besonders bei den relativ anspruchslosen Rassen unserer Waldbäume, etwas Endgültiges auszusagen [11]). Ähnlich verhält es sich mit dem von Hartmann in seinen neuesten Arbeiten [12]) zur Charakterisierung eines Bodens herangezogenen Gans'schen Molekularverhältnis. Durch die Rekonstruktion der besonders reaktionsfähigen Alumosilikate

---

[7]) K. Vogel von Falkenstein, Untersuchungen von märkischen Dünensandböden mit Kiefernbestand, I. M. f. B. 1912, S. 494.

[8]) M. Helbig, Über Düngung im forstlichen Betriebe, Neudamm 1906, S. 8.

H. Lundegård, Die Nährstoffaufnahme der Pflanze, 2. Aufl. 1930, S. 6.

[9]) C. Councler, Z. f. F. u. J., 1903, S. 391 und neuerdings A. Mustafa: Beitrag zur Ökologie der Tanne, Diss. Dresden 1934, S. 39 ff. weisen darauf hin, daß bei Waldbäumen das Mangan an Stelle des Kalkes treten kann, wenn dieser unzulänglich vorhanden war.

[10]) H. Vater, Das Zulangen der Nährstoffe im Walde für das Gedeihen von Kiefer und Fichte. Th. f. Jahrb. 1909, S. 213 ff.

[11]) V. T. Aaltonen, l. c. 34 (28), S. 1.

[12]) F. K. Hartmann,

A) Wald- und Bestandstypen des norddeutschen Diluviums, S. 58 ff.

B) Zur soziologisch-ökologischen Charakteristik der Waldbestände Norddeutschlands, Silva 1933, S. 161 ff.

in diesem Verhältnis versuchte Gans [13]) einen Einblick in den Zustand des Bodens zu bekommen. Er fand bei neutraler Reaktion des Bodens ein Molekularverhältnis von $+3$ Mol. SiO_2 — 1 Mol. Al_2O_3 — 1 Mol. Basen [14]). Saure Reaktion der Böden wird angezeigt, wenn auf 1 Mol. Al_2O_3 kein ganzes Mol. Basen mehr kommt.

Gegen diese Molekularformel sind Einwände erhoben worden. Ein Einwand geht gegen die Darstellung des Komplexes als einer rein chemischen Verbindung von fester Molekularzusammensetzung [15]). Ein anderer Einwand ist methodischer Art. Sigmond [16]) hat nachgewiesen, daß je nach Konzentration und Einwirkungsdauer der Salzsäure die Molekularzusammensetzung desselben Bodens verschieden ausfällt. Er stellte daher die Forderung auf, daß zuerst festgelegt werden müsse, welche Art des Bodenauszugs die richtige Zusammensetzung der Silikate wiedergäbe. Diese Forderung erhält auch heute noch zwei verschiedene Beantwortungen. Während Utescher [17]) daran festhält, daß die Methode der preußischen geologischen Landesanstalt, die auch Gans benützte, die Zuverlässigste sei, wurde von der internationalen bodenkundlichen Gesellschaft [18]) die Methode van Bemmelen-Hissink als offizielle Methode angenommen. Durch diese Methode wird aber nicht nur der Silikatkomplex gelöst, sondern es werden jeweils im Grade unbestimmbar, noch andere durch Salzsäure angreifbare Bodensilikate zersetzt. Daß die aus dem Molekularverhältnis abgeleiteten Folgerungen für humose Böden nicht zutreffen, konnten Knickmann und Helbig [19]) nachweisen. Es nimmt daher nicht Wunder, wenn Hartmann bei den von ihm untersuchten Braunerdeprofilen bester Eichenbonität und guter Buchenbonität zu außergewöhnlichen Molekularverhältnissen

[13]) R. Gans, Die Charakterisierung des Bodens nach der molekularen Zusammensetzung des durch Salzsäure zersetzlichen silikatischen Anteils des Bodens. I. M. f. B. 1913, S. 529.

[14]) F. K. Hartmann, l. c. A) S. 45, sagt, daß ein Molekularverhältnis von $3 : 1 : 0{,}7$ für diese Gegend noch eine „leidlich gesättigte" Basenadsorption erkennen lasse, ein Verhältnis von $3 : 1 : <0{,}5$ erst eine ungesättigte.

[15]) G. Wiegner, Boden und Bodenbildung 1924, S. 39 u. 87. K. K. Gedroiz, Der adsorbierende Bodenkomplex, 1929, S. 7 ff.

[16]) A. v.' Sigmond, Bemerkungen zur Frage des salzsauren Bodenauszugs, Vhdl. II. Komm. Intern. Bodenk. Ges. Budapest 1929, A. S. 13 ff.

[17]) K. Utescher, Chemische Bodenanalyse und Molekularverhältnis. Z. f. P. u. D. A. XI 1928, S. 275.

[18]) A. v.' Sigmond, Über die Charakterisierung des Bodens auf Grund des salzsauren Bodenauszugs und des Basenaustauschvermögens. I. M. f. B. 1915 S. 165.

[19]) E. Knickmann u. M. Helbig, Untersuchungen über Bodenverhagerung, Ztschr. f. P. u. D. A. Bd. 5 (1925) S. 209.

kommt [20]), ohne sie recht erklären zu können. Für die Profile aus Podsolböden wurden die Zahlen überdies gar nicht ermittelt, da sie bei geringem Basengehalt unsicher seien [21]).

Von den chemischen Untersuchungsmethoden wurden für meine Untersuchungen nur die Bestimmung des Reaktionszustandes und die Ermittlung des Gehalts an organischen Bestandteilen ausgeführt. Der Reaktionszustand wurde durch die Bestimmung der pH-Zahl und der Titrationsazidität im H_2O- und KCl-Auszug festgestellt. Die Auszüge wurden bei den Mineralböden nach Vorschrift hergestellt [22]): 100 g lufttrockener Boden wurde mit 250 ccm Flüssigkeit 1 Stunde lang geschüttelt. Danach wurden die Proben, um filtrieren zu vermeiden, bis zu völliger Klarheit der Flüssigkeit stehen gelassen [23]). Die H_2O-Auszüge wurden außerdem vor der Prüfung noch erhitzt, um eine Steigerung des Reaktionszustandes durch etwa aufgenommenes CO_2 zu verhindern, dann mit Phenolphtalein als Indikator titriert und die Werte auf 100 gr absolut trockenen Boden berechnet [24]). Ebenso wurde die pH-Zahl in der Aufschlämmung bestimmt. Da sich bei der zuerst angewandten elektrometrischen Methode bei einigen Bodenproben beträchtliche Unterschiede ergaben, je nachdem die Ablesung einige Sekunden oder erst 1—2 Minuten nach der Zugabe von Chinhydron erfolgte [25]), und eine für sämtliche Böden

---

[20]) F. K. Hartmann l. c. A) S. 58

A— horizont	1,29 : 1,0 : 0,16	pH 5,3
B— horizont	1,13 : 1,0 : 0,17	pH 5,2
C— horizont	1,69 : 1,0 : 0,31	pH 7,2

A— horizont	2,0 : 1,0 : 0,3	pH 4,8

l. c. B) S. 254.

A_1 1—5 cm	3 : 1 : 0,89	pH(H_2O) 5,4	(KCL) 5,1
C_1 45 cm	3 : 1 : 12,48	7,5	7,0
A_1 1—10 cm	3 : 1 : 0,81	6,4	6,0
C_1 50 cm	3 : 1 : 7,14	7,5	7,0

[21]) F. K Hartmann, l. c. A) S. 59.

[22]) G. Wiegener, Anleitung zum quantitativen agrikulturchemischen Praktikum 1926 S. 172.

[23]) Frank, Über Bodenazidität im Walde, 1927, S. 23 f., fand dabei, daß tiefere, noch nicht ganz sedimentierte Schichten der Aufschlämmung im allgemeinen um 0,2—0,8 pH bei Ortstein sogar um 1,5 pH saurer reagieren als die höheren, klaren.

[24]) Nach G. Deines und R. Kleinschmidt, Vergleichende Untersuchungen zur Aciditätsbestimmung in Waldböden. Z. f. P. D. u. B. A. 25. Bd. (1932) S. 257.

[25]) Soil Research 1930 Bd. V Nr. 2, Bericht des Ausschusses zur Bestimmung der Bodenreaktion.
Hoss, Die Methoden der Wasserstoffionenkonzentration im Hinblick auf botanische Probleme. Beih. z. Bot. Ctrbl. Bd. XLIX 1932 S. 1 beobach-

einheitliche Methode angestrebt wurde, geschah die Bestimmung kolorimetrisch mit dem Komparator von Hellige [26]). Dabei wurde, um die bei der Verwendung verschiedener Indikatoren auftretenden Fehler zu vermeiden [27]), für eine bestimmte pH-Spanne immer der gleiche Indikator verwandt.

Bei der Feststellung des Reaktionszustandes von Trockentorfauflagen mußte aus bekannten Gründen von dem üblichen Verhältnis von Boden zu Flüssigkeit abgewichen werden. Frank [28]) wählte für seine stark humosen Böden ein Verhältnis von 2 : 10. Dies erschien mir jedoch für mehrere Trockentorfe noch zu eng, während das von Arndt [29]) für die Bestimmung mit Chinhydron bei Moorböden angewandte Verhältnis von 1 : 25 zu weit erschien. Es wurde daher das bei Wittich [30]) genannte Verhältnis von 1 : 10 übernommen [31]). Dies allen Trockentorfausschüttelungen zugrundegelegte Verhältnis lieferte überall genügende Mengen Flüssigkeit.

Die Bestimmung der organischen Substanz geschah durch vorsichtiges Glühen der vorher bei 105° getrockneten Feinerde. Bei dieser rein quantitativen Bestimmung ist eine Trennung in die

---

tete (S. 56) an Aufschlämmungen von Sand- und Mergelböden eine Änderung der gemessenen EMK je nach dem Zeitpunkt der Ablesung. So fiel bei einem Sandboden die EMK von 127 Millivolt nach 1 Minute auf 100 Millivolt nach 18 Min. Bei den Mergelböden dagegen stieg das Potential von 105 auf 139 Millivolt in 10 Minuten bezw. von 106 auf 129 Millivolt in 7 Min. Bei zentrifugierten Flüssigkeiten konnte dieses Verhalten nicht beobachtet werden.

[26]) M. Lorey, Beitrag zur pH-Messung in der Praxis, A. F. u. J. Z. 1933 S. 52, findet gute Übereinstimmung zwischen den optischen Werten der auch von mir benützten Indikatoren und den Werten aus elektrometrischen Messungen.

[27]) Bei Vorversuchen wurden u. a. folgende Abweichungen ermittelt:

KCl-Aufschlämmung von Moder:	Bromphenolblau	pH 4,4
	Bromkresolgrün	pH 4,2
KCl-Trockentorfaufschlämmung:	γ-Nitrophenol	pH 4,2
	α-Dinitrophenol	pH 3,8
	Bromphenolblau	pH 3,9
	Michaelis	pH 3,4
H_2O-Aufschlämmung:	Methylrot	pH 4,9
sandiger Lehm 160 cm	Bromkresolgrün	pH 5,1
	Michaelis	pH 4,8

[28]) E. Frank, Über Bodenacidität im Walde 1927 S. 33.

[29]) Arnd und Siemers, Zur Methodik der pH-Bestimmung mit der Chinhydronelektrode. Z. f. P. u. D. A. VII (1926) S. 191.

[30]) Wittich, Untersuchungen über den Einfluß intensiver Bodenbearbeitung auf Hohenlübbichower und Biesentaler Sandböden, 1926, S. 61.

[31]) G. Deines und R. Kleinschmidt, l. c. wählten das Verhältnis 1 : 12,5.

verschiedenen Humusformen der Ausgangssubstanz [32]) nicht möglich, eine Trennung, die heute noch durch keine Methode exakt ausgeführt werden kann. Noch andere Mängel haften dieser Methode an [33]). So wird durch die Trocknung bei 105° nicht alles adsorptiv gebundene Wasser entfernt und das chemisch gebundene nicht angegriffen. Beide werden durch das Glühen entfernt und der organischen Substanz aufgerechnet. Andererseits wird durch das Glühen ein Oxydationsprozeß eingeleitet, der besonders die reduzierten Bleichsande gewichtsmäßig beeinflussen dürfte. Wenn diese Methode trotzdem bei allen Böden angewandt wurde, so geschah es aus dem Grunde, weil bei der Bestimmung durch Verbrennung die größere Genauigkeit der Methode durch die sehr unsicheren Umrechnungsgrundlagen für das Endresultat beeinträchtigt wird.

Schon zur Zeit Liebigs gab es Forstleute, die auf die große Bedeutung der physikalischen Bodenfaktoren bei Waldstandorten hinwiesen [34]). So schrieb Heyer [35]): „Die chemische Zusammensetzung des Bodens influiert auf den Holzertrag sehr wenig oder garnicht, weil unsere Holzgewächse eine geringe Menge von

---

[32]) Im allgemeinen unterscheidet man bei der organischen Substanz nach der „Anleitung zur Standorts- und Bestandsbeschreibung im forstlichen Versuchswesen" zwischen Bodenstreu und Humus. Wobei man unter Bodenstreu „noch nicht in Humus übergegangenen Pflanzenabfall" (Anleitung S. 13) oder „unveränderte organische Reste" (Maiwald H. d. B. VII, S. 117) versteht, und unter Humus „mehr oder weniger in natürlicher Zersetzung befindliche brennbare Reste von Organismen" also „das Zwischenlied zwischen abgestorbener Pflanze und deren Mineralisierung". (Helbig, H. d. F., 3. Aufl. 1. Bd. S. 207 ff.). Eine Bodenstreu nach der obigen Definition gibt es nicht, da mit dem Eintritt des Todes in der Zelle schon der Prozeß der Zersetzung beginnt, alle tote organische Substanz also Humus wäre. Es schiene mir richtiger, Bodenstreu als physikalisch und chemisch noch wenig veränderten Pflanzenabfall aufzufassen. Eine exakte Klassifikation der Humusarten steht noch aus, die bestehende ist nur ein Notbehelf.

[33]) E. Heine, Die praktische Bodenuntersuchung 1911, S. 81, bringt für je 10 % Tongehalt der Feinerde 1 % von dem zunächst gefundenen Humusgehalt in Abzug.

Hissink (Maiwald, Die organischen Bestandteile des Bodens H. d. B. Bd. VII, S. 143) nimmt die Menge des in holländischen Böden im Glühverlust enthaltenen Hydratwassers mit 6,3 % des Tongehaltes an und berechnet darnach den Abzug.

[34]) Über die geschichtliche Entwicklung s. bei Burger, Physikalische Eigenschaften der Wald- und Freilandböden. Mitt. d. schweiz. Centr. Anst. f. d. f. Versw. 1922 S. 4 ff.

[35]) G. Heyer, Lehrbuch der forstlichen Bodenkunde und Klimatologie 1856, S. 530.

anorganischen Stoffen [36]) aus dem Boden aufnehmen, und jeder Boden genug von diesen enthält, um der Waldvegetation ihren vollen Bedarf liefern zu können". Und in der Bodenkunde Trommers (1857) steht der Satz [37]), daß „die physikalischen Verhältnisse des Bodens und deren Untersuchung in den meisten Fällen wichtiger sei als die chemischen Verhältnisse". In der praktischen Bodenkunde gilt dies im allgemeinen heute noch. So mißt Schnider [38]) „einer Untersuchung auf Bodennährstoffe" (außer Kalk und Humus) „im allgemeinen nur eine geringe Bedeutung" für die Bonitierung bei, und hält eine genaue mechanische Analyse und die Beachtung der Oberflächengestaltung, der Wasserverhältnisse und der Bodenbeschaffenheit für wertvoller. Und auch der für die Bewertung des Ackerbodens durch die Gutachterausschüsse der Landesfinanzämter zugrundeliegende sog. Schätzungsrahmen [39]) gibt eine Bodeneinteilung, die allein auf dem Gehalt an abschlämmbaren Teilen (<0,01 mm) aufgebaut ist [40]).

Diese Anschauungen vom Primat der physikalischen Faktoren gegenüber den chemischen ist besonders dann hervorgehoben worden, wenn es sich um Waldböden handelte [41]). Dabei wurde von verschiedenen Autoren auf verschiedene Faktoren ausschlaggebender Wert gelegt. Geht doch die physikalische Bodenuntersuchung sowohl auf die Ermittelung der festen Bodenkörner, ihre Größe, Lagerung, Oberfläche usw. aus als auch auf die Bestimmung der Hohlräume und ihren Inhalt.

Für die Bestimmung der Wasserkapazität trat besonders Hoppe ein [42]). Er glaubte in der Abnahme ihrer Zahlenergebnisse den ersten Anzeiger für die Verschlechterung der physikalischen

---

[36]) nach Danckelmann (cit. nach Helbig, Über Düngung im forstlichen Betriebe S. 129) entzieht 1 ha Fichte II Bonität bei 120jähr. Umtrieb dem Boden jährlich 12,6 kg Stickstoff; 32,5 kg Reinasche; 4,9 kg K_2O; 13,8 kg CaO; 2,4 kg MgO; 2,0 kg P_2O_5 und 1,9 kg SiO_2.

[37]) zit. nach Burger l. c. S. 5. Er fügt hinzu: Dieser Satz hat noch heute für Waldböden seine unbedingte Berechtigung.

[38]) Schnider, Beschaffenheits-, Ertrags- und Wertbeurteilung landwirtschaftlicher Grundstücke. 1925, S. 94 ff. und S. 116 f.

[39]) Aus Herzog, Die Bewertung der mineralischen Ackerböden Deutschlands, 1932, S. 10.

[40]) Dieser Rahmen gibt für Lehmböden einen Gehalt an abschlämmbaren Teilen von 40—30 % an, während nach der Aufstellung der landwirtschaftlichen Versuchsstationen diese Böden einen Höchstgehalt von 30 % aufweisen sollten.

[41]) Němek und Kvapil, Beitrag zur Frage reiner Fichten- und Buchenbestände, sowie durch beide Holzarten gebildete Mischbestände auf einige Eigenschaften der Waldböden. Z. f. F. u. J. 1925, S. 200.

[42]) E. Hoppe, Über den Einfluß der Bestandsdichte auf die Bodenfeuchtigkeit. Ctrbl. f. d. ges. Forstw. 1895, S. 99.

Verhältnisse der Waldböden gefunden zu haben. Nach ihm konnte auch Wallenböck [43]) durch die Bestimmung der Wasserkapazität in verschiedenen Beständen und Bestandslücken Einblick in die physikalischen Verhältnisse der Standorte bekommen. Burger [44]) dagegen fand bei seinen Untersuchungen gar keine Parallelität zwischen der Wuchsleitung einerseits und dem Porenvolumen und der Wasserkapazität andererseits. Nur die Luftkapazität sei für diese Böden bei gleichen geologischen und klimatischen Verhältnissen der Maßstab für die Bodengüte, so, daß mit steigender Luftkapazität die Produktion der Böden zunehme. Helbig [45]) hat zuerst darauf aufmerksam gemacht, daß die Luftkapazität wohl einer der das Wachstum bedingenden Faktoren sei, daß es aber verfehlt ist, allein auf Grund solcher Daten, besonders wenn sie mit einer Methode gewonnen sind, die negative Werte liefern kann, eine Bonitierung von Böden vorzunehmen. Später fand dann Wiedemann [46]) bei seinen Untersuchungen über die Ursachen von Wuchsstockungen bei Fichten, daß der Satz, die Luftkapazität sei das bedeutungsvollste Kriterium zur Beurteilung der Güte eines Bodens. in dieser Verallgemeinerung etwas zu kühn ist. Auch ich fand schlechteste Zuwachsleistung der Fichte auf sehr lockeren Böden. d. h. bei überoptimaler Luftkapazität [47]), während auf dichten Böden, also bei verhältnismäßig geringer Luftkapazität noch gutes Fichtenwachstum beobachtet wurde. Erst wenn Grundwasser, das in solchen Böden mit geringer Geschwindigkeit fließt, hoch anstund [48]), nahm die Wuchsfreudigkeit der Bestände rasch ab. Diese Standorte gehörten dann zu den schlechtesten in bezug auf das Fichtenwachstum.

Wiedemanns [49]) Beschreibung der Profile aus dem Hundshübler Revier, und auch die von mir gemachten Beobachtungen deuten darauf hin, daß das Wasser eine große Rolle für die Fichte,

---

[43]) R. Wallenböck, Bodenphysikalische Untersuchungen in Mischbeständen von Eiche und Buche. Ctrbl. f. d. ges. Forstw. 1910, S. 151. Er benützte nur Feinerde unter 1 mm, deren Anteil allerdings 80—100 % betrug.

[44]) Burger l. c. S. 54.

[45]) M. Helbig, Schweiz. Z. f. F. 1923, S. 216.

[46]) E. Wiedemann, Fichtenwachstum und Humuszustand. 1924, S. 11.

[47]) s. Helbig 1906 S. 2 Anm. 1. Es kann auch ein dem Maximum zuliegender Faktor die Produktion beherrschen.

[48]) nach H. Hesselmann: Über den Sauerstoffgehalt des Bodenwassers und dessen Einwirkung auf die Versumpfung des Bodens und das Wachstum des Waldes. Medd. från statens skogsförsöksanstalt, Hft. 7, S. 91, ist die Ursache des schlechten Fichtenwachstums auf solchen Standorten nicht so sehr im Wasserüberfluß als im Sauerstoffmangel des Wassers zu suchen.

[49]) E. Wiedemann l. c. S. 10.

und wohl ganz allgemein für den Wald spielt [50]). So fand Wiedemann kümmernde Kulturen dort, wo „unter der meist trockentorfartigen Humusdecke eine 5—15 cm mächtige humose, mäßig lockere, hellgraue Bleichschicht anstund, die in 15—25 cm Tiefe wesentlich fester wird. Darunter, also nur 20—30 cm unter der Erdoberfläche, folgt eine außerordentlich lockere, oft mehlige, gelbbraune Schicht von sehr großer Mächtigkeit". Die Standorte mit normalem Wachstum dagegen haben dort ein ganz anderes Bodenprofil. Eine tote Bodendecke fehlt fast völlig. Der Boden ist „oft schon von 10—25 cm Tiefe abwärts sehr stark verhärtet. Der Trennungswiderstand" (durch Eindrücken eines zugespitzten Eisenstabs von etwa 0,5 cm Durchmesser in den Boden gemessen) „in dieser Unterschicht ist 3—5mal so groß wie in der gleichen Tiefe der Freikultur. Erst 15—30 cm tiefer" (also in 40—55 cm Tiefe) „folgt dann auch hier der gelbbraune mehlige lockere Untergrund." Das zur Verfügung stehende Wasser wird also hier viel länger in den durchwurzelbaren Bodenschichten gehalten als dort, da die drainierende Wirkung des lockeren Untergrunds durch eine viel mächtigere Verdichtungsschicht gehemmt ist [51]).

So notwendig es gewesen wäre, die Beobachtungen über Luftkapazität und Wasserkapazität der verschiedenen Böden zahlenmäßig festzulegen, so mußte doch von einer solchen Bestimmung abgesehen werden. Es ist in der Literatur wiederholt darauf hingewiesen worden, daß die Bestimmung dieser Größen einwandfrei nur im natürlich gelagerten Boden vorgenommen werden kann. Einer solchen Bestimmung traten jedoch zwei Hindernisse entgegen. Knickmann [52]) hat darauf hingewiesen, und es hat sich bei Voruntersuchungen mit einem Gneisboden aus der Nähe von Freiburg auch gezeigt, daß bei den steinigen Böden der Gneis- und Granitgebiete eine Bestimmung dieser Größen recht ungenaue Werte liefert, wenn nämlich Steine mit in den Zylinder aufgenommen sind, deren Masse oder Größe nicht dem Mittelmaß entspricht. Diese Entnahme einer mittleren Probe hat aber niemand in der Hand, und 8 oder mehr Vergleichsproben aus jedem Horizont eines Profils zu entnehmen, wie dies Burger tat, um seine Mittelwerte möglichst treffend zu bekommen, war ganz unmög-

---

[50]) Leider gibt Wiedemann keine meteorologischen Daten für dieses Gebiet an.

[51]) Wiedemann meint (S. 15), der Wachstumsunterschied beruhe im wesentlichen auf Unterschieden des Humuszustands. Das Primäre ist jedoch das Klima und die Wasserverhältnisse des Bodens, die den Humuszustand erst bedingen, der dann seinerseits wieder, zusammen mit diesen Faktoren in Beziehung zu der Pflanze tritt.

[52]) E. Knickmann und M. Helbig l. c. S. 213.

lich. Außerdem war noch zu beobachten, daß die mit dem Messer abgeschnittenen Proben in den Zylindern schon nach einstündigem Transport nicht mehr alle in ihrer ursprünglichen Lagerung waren: einige erwiesen sich etwas zusammengesackt. Geschah dies schon bei einem Lehmboden, dann mußte die natürliche Lagerung eines lockeren Sandbodens noch dazu bei tagelangem Transport auf der Eisenbahn erheblich mehr zerstört sein. Hinzu kommt noch der Einwand gegen die Methode selbst: Es geht nicht an, die Luftkapazität so zu messen, daß für sie unter Umständen negative Werte erscheinen können, wie sie Burger tatsächlich erhielt. Solange noch keine bessere Methode ausgearbeitet ist, ist es besser, auf solche Bestimmungen zu verzichten, als mit mangelhaften Methoden gewonnene Daten zu Schlüssen heranzuziehen

Über den Wert der Bestimmung der Korngrößenzusammensetzung eines Bodens für seine Charakterisierung ist ganz verschieden geurteilt worden, je nachdem der Zweck der Bestimmung eine Beurteilung der Bodenart, oder die Ermittlung einer Kenntnis der Beziehungen von Boden zu Pflanzenertrag war. So lehnt Mitscherlich die Einreihung des Bodens in Taxklassen auf Grund der Bestimmung der abschlämmbaren Teile ab, und mißt den Resultaten der Korngrößenbestimmung keine Bedeutung zur Charakterisierung eines Bodens bei. Andererseits hat Atterberg [53]) seine natürliche Korngrößeneinteilung für den Boden als Pflanzenstandort getroffen, und v. Mittelstaedt [54]) konnte zeigen, daß die „Ergebnisse der Schlämmanalyse zu den Ergebnissen der elementaren Wasserführung in Gewichtsprozenten, desgleichen zu der Wasserkapazität in Gewichtsprozenten in enger Beziehung stehen, sodaß diese Methode Rückschlüsse von ihren Ergebnissen auf das Verhalten des Bodens zu Wasser zulassen dürfte".

Der Grad der Genauigkeit einer Korngrößenbestimmung hängt wesentlich von der zur Dispergierung der einzelnen Bodenkörner angewandten Vorbehandlungsmethode ab [55]). Die Me-

---

[53]) A. Atterberg, I. M. f. B. 1914, S. 3.

[54]) F. v. Mittelstaedt, Vergleichende Untersuchungen der Methoden zur Bestimmung der physikalischen Eigenschaften von Mineralböden. Diss. Halle-Wittenberg 1932. Die Beziehungen, die zwischen den Befunden der verschiedenen Methoden bestehen, wurden mittels der Bravaisschen Korrelationsrechnung festgestellt. Nach A. Walther, Einführung in die mathematische Behandlung naturwissenschaftlicher Fragen, 1928, S. 88, ist jedoch „beim Gebrauch des Korrelationskoeffizienten Kritik vonnöten — sie wird in der Praxis der rechnenden Biologie bisher nicht immer genügend geübt."

[55]) J. Hissink, Die Methode der mechanischen Bodenanalyse. I. M. f. B. 1925, S. 149 Tab. I.

thode der landwirtschaftlichen Versuchsstationen ist für elektrolyt- und kalkarme Proben besonders geeignet, und für tonige Böden die beste [56]). Dementsprechend wurde von mir die Feinerde eine Stunde lang mit destilliertem Wasser gekocht unter dauerndem Umrühren und Ersatz des verdampften Wassers. Stärkere Koagulationserscheinungen sind bei keiner Probe beobachtet worden; es ist jedoch wahrscheinlich, daß sie in geringem Umfang aufgetreten sind. Eine andere geringe Fehlerquelle liegt in der einstündigen Kochdauer. Es ist anzunehmen, daß bei dieser Behandlung geringe Mengen der Substanz in Lösung gehen [57]), die den nur aus der Gewichtsdifferenz berechneten abschlämmbaren Bestandteilen aufgerechnet werden. Da mein Untersuchungsmaterial jedoch aus Buntsandstein- und Urgesteinsböden stammt, treten solche Verluste kaum in Erscheinung.

Diese Vorbehandlung mußte bei den aus Ortstein und Orterdehorizonten stammenden Proben verlassen werden, da eine weitgehende Aufteilung allein durch Kochen nicht erwartet werden konnte. Es kam daher eine von Kappen [58]) angewandte und von Blanck [59]) geprüfte Methode in Anwendung, bei der der Boden mit 2,5%iger NH_3 eine Stunde lang auf dem Wasserbade erhitzt wird.

Die Trennung der Bodenkörner geschah im Spülverfahren [60]) durch den Kopecky'schen Schlämmapparat. Die Anteile über 2 mm wurden durch trockenes Sieben im Präzisionssieb bestimmt. Bei der prozentualen Berechnung wurde, wie üblich, Feinerde und Bodenskelett getrennt ermittelt.

Um einen Einblick in die Art der abschlämmbaren Teile, besonders die Größe des Kolloidanteils, zu bekommen, wurde noch die Menge des hygroskopisch gebundenen Wassers festgestellt. Unter diesen Voraussetzungen war die Bestimmung durch Trocknung bei 105° ungeeignet. Die Mängel dieser Methode besonders bei Lehm- und Tonböden haben schon Albert und Bogs [61]) nachgewiesen. Aber auch der dort empfohlenen Methode Mitscherlichs

---

[56]) H. Gessner, Die Schlämmanalyse. 1931, S. 163.

[57]) Dies wird ebenfalls noch in geringem Maß während des ganzen Spülvorgangs der Fall sein können.

[58]) H. Kappen, Landw. Vers. Stat. 1916 Bd. 88, S. 32.

[59]) E. Blanck, Biederm. Ztrbl. 1926. S. 105.

[60]) H. Burgevin, Projet de revision de la méthode d'analyse physique des terres, Annales de la science agron. Bd. 42 (1925) S. 449 glaubt, daß diese Methoden nur noch ein bedingtes Interesse besitzen, während ihnen M. Köhn (Beiträge zur Theorie und Praxis der mechanischen Bodenanalyse, Landw. Jahrb. Bd. 67 (1928) S. 485) richtigerweise die Trennung bis zu etwa 0,01 mm vorbehält.

[61]) R. Albert und O. Bogs. I. M. f. B. 1914, S. 181.

sind die theoretischen Grundlagen entzogen. Neugeborn [62]) konnte zeigen, daß Mitscherlich nicht nur das an der Oberfläche gebundene Wasser bestimmt hat, sondern auch Kapillarwasser. Ich habe daher die auf den Feststellungen Neugeborns aufbauende Methode Kurons [63]) angewandt, bei der der Dampfdruckausgleich bei einem Sättigungsdruck von nur 50 % stattfindet, im Gegensatz zu der Methode Mitscherlichs, die bei 90 % arbeitet, wo in erheblichem Maße Kapillarkondensation auftritt.

Zusammenstellung der Untersuchungsergebnisse.

Im Folgenden werden die Untersuchungsresultate zahlenmäßig, und für einige charakteristische Profile auch bildlich, wiedergegeben, die Besprechung derselben erfolgt später (s. S. 44 ff.).

---

[62]) A. Neugeborn, Die Bestimmung der Bodenoberfläche durch Flüssigkeitsadsorption. Diss. Breslau 1927.

[63]) H. Kuron. Z. f. P. D. u. B. A. Bd. XVIII (1932) S. 179.

Nr.	Horizont cm	Mech. Analyse (Gew. %) Kies >5mm	Kies >2mm	Grobs. 2-0,1 mm	Feinsand 0,1-0,05 mm	Feinsand 0,05 — 0,01 m²	Schluff <0,01 m²	Titrationsazid. ccm n|10 Na OH H_2O	Titrationsazid. ccm n|10 Na OH KCl	pH H_2O	pH KCl	H_2O-Verl. 105° Gew. %	Glühverl. Gew. %	adsorpt. H_2O (Kuron) Gew. %	Bon	Geol. Schicht
1.	A_0							6,0	27,5	4,2	3,6	3,98	17,88		I	S. O.
	A_1 (I)	5,3	4,0	74,6	3,8	5,85	15,75	2,1	31,4	4,6	4,3	1,88	3,53			
	A_2 (II)	8,5	1,8	76,3	5,1	5,9	12,7	0,5	12,0	4,6	4,4	1,54	2,61			
	B (III)	9,7	6,8	74,45	4,2	5,45	15,9	0,5	14,2	4,5	4,5	1,02	2,34			
	C	13,5	2,5	58,0	9,4	6,0	26,6	0,4	5,5	4,9	4,5	0,42	1,42			
2.	A_0							2,9	42,8	4,5	3,5	8,08	33,37		I	S. O.
	A_1 (I)	4,2	4,2	45,4	19,7	10,1	24,8	1,2	27,2	4,6	4,4	2,03	4,19			
	B (II)	5,6	7,0	56,0	11,15	7,95	24,9	1,0	23,4	4,7	4,5	1,47	2,84			
	C (III)	2,9	4,4	46,6	16,95	6,3	30,15	0,9	33,1	4,6	4,5	1,39	2,57			
3.	A_0							4,4	20,1	4,6	4,5	3,66	15,47	2,7	I	S. O.
	A_1 (I)	3,5	4,5	49,1	18,5	8,8	23,6	1,9	32,6	4,6	4,3	1,78	4,74	0,96		
	B (II)	16,2	8,2	53,0	18,4	3,25	23,35	0,6	25,2	4,6	4,3	1,19	2,1	0,63		
	(III)	28,5	8,3	57,75	12,9	6,1	23,25	0,4	21,3	5,1	4,7	0,93	1,86	0,74		
	C	31,6	9,0	46,3	17,8	7,0	28,9	1,5	19,9	6,1	5,0	1,33	3,25	0,89		
4.	3—9 cm (I)	0,0	1,9	10,4	19,4	31,2	39,0	2,5	41,6	4,8	4,3	2,48	4,58	1,09	II	S. O.
	15—20 cm (II)	0,0	1,7	10,6	16,4	31,2	41,8	0,4	36,7	5,6	4,4	1,94	3,96	1,08		
	50—70 cm (III)	0,0	0,7	9,4	15,6	27,4	47,6	0,6	25,8	5,4	4,4	2,21	3,44	1,25		
	110—120 cm	0,0	1,3	12,6	12,6	30,2	44,6	0,6	16,7	4,9	4,4	2,75	3,68	1,42		
5.	A_0 (I)							6,4	26,7	4,4	3,0	15,28	73,93		IV	S. O.
	A_1 (II)	2,7	2,6	75,25	6,6	6,95	11,2	2,0	17,9	4,6	3,8	0,64	1,66			
	B	10,4	2,8	64,65	5,9	8,1	21,35	1,0	40,6	4,5	4,4	1,95	3,24			
	C	14,8	7,5	60,3	13,45	5,6	20,65	0,4	19,2	5,4	5,0	1,8	2,54			

6.	A_0 (I)							8,8	66,7	3,4	3,0	13,75	60,64	8,18	IV	S. O.
	A_1 (I)	3,2	1,7	45,1	16,6	9,55	28,93	5,8	96,2	4,6	2,9	4,29	10,23	1,74		
	15—25 cm (II)	14,6	2,8	44,2	16.5	7,6	31,7	0,8	51,3	4,6	4,1	2,47	4,48	1,13		
	50—70 cm (III)	8,7	1,7	39,05	20,25	8,95	31,75	0,3	33,7	4,6	4,3	1,65	2,4	0,76		
	90—95 cm	0,0	0,3	31,0	24,4	8,85	35,75	0,4	38,4	4,6	4,4	1,26	2,26	0,72		
7.	A_0 (I)							3,9	20,5	4,7	3,9	4,44	21,72		V	S. O.
	A_1 (II)	0,0	0,4	66,5	6,2	6,55	20,75	6,9	46,8	4,4	3,7	0,87	1,91			
	C	0,0	0,0	36,8	11,6	10,25	41,35	0,4	42,8	5,2	4,8	1,5	3,93			
8.	A_0 (I)							2,8	25,4	4,7	3,0	4,85	35,29		V	S. M.
	A_1 (II)	5,0	0,6	80,2	3,55	4,8	11,45	1,3	7,3	4,9	3,9	0,25	1,00			
	B (III)	—	—	65,5	4,3	2,4	27,8	1,5	36,5	5,2	4,3	1,64	5,05			
	C	22,5	9,5	78,8	6,6	3,5	11,1	0.6	6,5	5,5	4,4	0,93	1,86			
9.	A_0 (I)							6,6	33,7	3,6	3,1	10,12	49,38	7,48	V	S. M.
	A_1 8—15 (I)	12,0	4,0	86,0	5,0	1,85	7.15	1,3	14,4	4,1	3,0	1,36	6,00	0,99		
	A_2 20—30	10,9	1,6	88,3	5,0	0,75	5,95	0,7	3,7	4,6	3,8	0,82	0,86	0,12		
	A_3 (III)	9,0	1,7	88,6	4,7	0,6	6,1	1,0	11,9	4,4	3,8	0,48	0,86	0,23		
	B_1	—	—	84,1	4,55	1,2	10,15	1,1	35,8	4,6	4,1	2,29	2,10	1,06		
	B_2	—	—	80,3	4,9	0,8	14,0	1,2	22,6	4,4	4,3	2,02	2,83	0,91		
10.	A_0 (I)							4,9	36,8	2,9	2,0	12,37	78,63		V	S. M.
	A_1 (II)	10,9	2,3	86,3	7,0	2,0	4,7	0,5	3,6	4,6	4,1	0,08	0,44			
	A_2	—	—	55,15	3,45	0,6	40,8	1,5	76,1	4,6	4,3	7,54	17,77			
11.	A_0 1—5							6,3	35,5	4,4	3,5	—	—			
	A_0 10—20 (I)							1,5	85,0	4,5	3,7	14,30	52,01	8,62	V	S. O.
	A_1 (II)	0,0	0,0	17,8	8,3	18,15	55,75	1,2	114,6	4,3	4,1	4,50	10,17	2,30		
	B_1	0,0	0,1	26,25	11,55	17,25	44,95	0,8	49,0	4,4	4,3	2,04	3,82	1,27		
	B_2	10,5	9,0	35,35	11,05	23,65	29,25	0,7	43,6	4,6	4,3	1,75	2,85	1,14		

Nr.	Horizont cm	Mech. Analyse (Gew. %) Kies >5mm	>2mm	Grobs. 2-0,1 mm	Feinsand 0,1-0,05 mm	0,05 — 0,01 m²	Schluff <0,01 m²	Titrationsazid. ccm n/10 Na OH H_2O	KCl	pH H_2O	KCl	H_2O -Verl. 105° Gew.%	Glühverl. Gew. %	adsorpt. H_2O (Kuron) Gew. %	Bon	Geol. Schicht
12.	A_0							8,1	37,1	4,5	3,9	7,51	36,69	5,31	I	Gn.
	A_1 (I)	10,9	12,9	61,0	10,8	9,2	19,0	2,7	44,0	4,7	4,3	4,87	13,16	3,03		
	B (II)	9,4	14,4	60,5	9,95	10,35	19,2	0,8	11,4	4,8	4,4	3,33	7,02	1,56		
	C (III)	8,3	16,7	56,8	11,7	12,5	19,0	0,7	11,0	4,8	4,5	2,14	4,22	2,12		
13.	A_0							5,0	42,3	4,5	3,8	7,93	38,68		I	Gn.
	A_1 (I—II)	3,6	5,0	62,45	7,35	9,05	20,15	1,7	24,5	5,3	4,3	3,72	11,08			
	B (III)	7,6	5,7	64,00	7,3	7,3	21,4	0,3	11,3	5,4	4,4	2,40	4,86			
	C	10,8	19,0	80,6	5,9	2,3	11,2	0,4	16,6	5,3	4,5	1,52	3,65			
14.	A_1 (I)	12,9	35,2	49,25	10,5	11,55	28,7	3,2	56,8	4,6	4,4	5,66	6,52		II	Gr.
	B (II)	17,6	30,2	49,2	8,2	11,75	30,85	0,9	31,3	5,0	4,6	3,67	4,90			
	C (III)	11,7	32,4	56,95	8,3	10,4	24,35	0,8	26,2	4,9	4,5	2,78	2,62			
15.	A_1 (I)	7,3	11,6	59,35	6,75	9,8	24,1	4,7	28,2	4,8	4,6	3,06	9,5		II	Gn.
	B 30—50 (II)	6,3	8,5	56,85	7,75	9,6	25,8	2,1	35,5	4,9	4,3	1,89	3,59			
	B 50—70 (III)	7,0	8,0	51,25	7,4	10,5	30,85	3,1	27,7	5,0	4,6	2,11	3,18			
16.	A (I)	20,3	22,4	54,0	4,8	14,6	26,6	4,2	12,9	4,9	4,3	2,35	10,25		II	Gn.
	B_1 (II)	21,8	25,2	51,0	8,1	14,8	26,1	1,2	32,1	5,3	4,2	1,46	4,80			
	B_2 (III)	30,3	31,2	61,0	8,2	11,4	19,4	0,6	17,3	5,5	4,3	0,86	3,64			
17.	A_0							6,2	59,3	4,5	3,9	14,23	75,75	10,21	II	Gr.
	A_1 (I)	18,2	21,4	58,0	8,0	12,65	21,35	3,2	32,6	4,6	4,4	3,42	9,80	1,75		
	B_1 (II)	18,2	24,2	59,8	7,1	10,9	22,2	1,4	11,4	5,4	4,5	1,61	8,90	1,58		
	B_2 (III)	18,5	27,3	64,1	6,2	9,45	20,25	1,0	4,3	5,4	4,5	1,37	4,32	1,16		
	B_3	20,3	21,7	58,8	7,4	12,4	21,4	0,7	6,1	4,9	4,5	0,56	2,94	0,63		

18.	A_1 (I)	10,2	21,0	61,75	5,9	7,85	24,5	2,5	47,4	4,8	4,4	3,05	6,79		II Gr.
	B_1 (II)	11,6	16,8	54,85	4,95	7,15	33,05	1,2	23,5	4,7	4,2	2,50	3,42		
	B_2 (III)	12,1	22,5	64,8	4,6	7,6	23,0	0,5	26,0	4,8	4,3	2,26	2,95		
	C	9,8	12,1	74,65	3,9	5,55	15,9	1,3	22,7	5,4	4,8	1,66	1,96		
19.	A_0							11,6	33,7	4,6	4,0	7,6	35,54	5,89	II Gr.
	A_1 (I—II)	15,2	10,7	60,6	10,3	11,4	17,7	1,0	22,3	5,5	4,4	4,21	13,10	2,97	
	B (III)	8,3	16,2	62,8	10,1	11,2	15,9	0,3	6,4	5,4	4,5	2,4	4,86	1,43	
	C	21,5	22,9	88,9	5,4	2,2	3,5	0,3	3,5	5,3	4,5	0,59	1,36	0,42	
20.	A_0							2,7	46,3	4,4	3,9	6,65	28,07	5,04	III Gr.
	A_1 (I—II)	20,8	19,8	52,0	12,55	13,4	22,05	1,3	24,8	4,7	4,3	7,75	10,32	2,53	
	B (III)	19,8	20,4	52,65	11,7	13,65	22,0	0,5	12,8	4,8	4,4	4,66	7,85	2,22	
	C	12,3	19,3	52,7	12,8	15,05	19,45	0,9	10,6	4,8	4,4	3,59	8,33	2,48	
21.	A_0 (I)							8,4	60,3	3,3	2,9	18,12	73,5		IV Gr.
	A_1 (II)	23,5	40,0	68,0	5,15	5,6	21,25	4,4	68,2	3,8	3,4	4,01	8,22		
	B (III)	21,9	43,8	66,5	6,3	8,4	18,8	0,7	12,9	5,2	4,4	3,28	5,36		
	C	17,2	29,1	70,2	5,95	7,3	16,55	0,8	17,9	5,3	4,5	2,16	4,12		
22.	A_0 (I)							9,2	63,7	3,6	3,0	7,40	43,34		IV Gr.
	A_1 (II)	14,4	31,4	58,1	7,9	12,0	22,0	4,5	115,5	3,9	3,6	4,09	12,22		
	B (III)	25,9	34,0	61,2	7,3	10,1	21,4	0,8	13,6	4,8	4,5	2,96	8,53		
	C	18,5	26,4	62,0	6,35	9,65	22,0	0,6	7,2	4,8	4,5	1,17	3,23		
23.	A_0 (I)							7,5	77,4	3,4	3,0	13,42	62,64		IV Gr.
	A_1 (II)	28,7	34,3	56,55	10,2	10,9	22,35	4,6	85,2	3,9	3,6	4,12	12,67		
	B 40—50 (II)	28,0	28,9	52,7	8,8	12,3	26,2	0,8	7,5	4,9	4,5	2,16	5,74		
	B 70—90 (III)	22,3	31,0	53,8	8,9	11,5	25,8	0,6	3,8	4,9	4,5	1,32	2,86		
	C	23,0	23,5	56,2	8,9	11,9	23,0	0,7	5,5	4,9	4,5	0,96	2,62		

Nr.	Horizont cm	mech. Analyse (Gew. %) Kies >5 mm	Kies >2 mm	Grobs. 2-0,1 m²	Feinsand 0,1-0,05 m²	Feinsand 0,05-0,01 m²	Schluff <0,01 mm	Titrationsazid. ccm n/10 Na OH H_2O	Titrationsazid. ccm n/10 Na OH KCl	pH H_2O	pH KCl	H_2O-Verl. 105° Gewichts-%	Glühverl. Gewichts-%	adsorpt. H_2O (Kuron)	Bon	Geol. Schicht
24.	A_0 (I)							4,8	58,5	4,0	3,4	6,38	33,39	4,94	IV	Gr.
	A_1 (II)	26,8	20,5	54,6	10,15	13,85	21,4	3,6	41,1	4,4	4,1	2,19	11,27			
	B (III)	34,8	17,6	55,75	9,55	15,1	19,6	1,2	10,4	4,6	4,6	1,46	6,55			
	C	44,8	24,8	67,3	7,9	10,6	14,2	1,3	4,9	4,7	4,5	0,85	3,17			
25.	A_0 (I)							6,7	84,4	3,2	2,8	14,43	93,97	10,76	IV	Gr.
	A_1 (II)	14,6	35,2	59,1	6,3	10,7	23,9	1,9	55,5	4,0	3,8	1,34	7,17	1,08		
	B_1 (III)	13,7	34,5	53,0	6,0	9,8	31,2	2,2	45,2	5,0	4,4	3,31	9,41	1,77		
	B_2	17,3	33,3	53,9	6,0	12,6	27,5	1,3	31,1	4,6	4,6	3,48	10,05	2,36		
	C	11,7	34,7	56,2	6,7	11,9	25,2	1,7	23,9	4,6	4,6	2,84	7,37	1,97		
26.	A_0 (I)							8,6	52,3	3,4	3,0	11,99	67,88		IV	Gr.
	A_1 (II)	21,5	33,9	64,0	5,4	8,55	22,05	3,2	54,3	3,9	3,5	2,09	10,21			
	B (III)	19,1	36,7	63,5	5,85	8,7	21,95	1,1	17,1	5,2	4,4	2,09	6,07			
		18,1	33,0	50,9	6,95	13,45	28,7	0,7	10,5	5,1	4,5	1,83	4,86			
27.	A_1 1—5 (I)	0,1	1,1	6,2	14,6	49,8	29,4	3,0	48,5	4,7	3,8	3,25	12,09		II	S. O.
	A_1 10—20 (II)	0,2	0,5	2,6	9,0	52,2	36,2	0,8	48,1	4,8	4,1	2,45	6,17			(Löss)
	B 40—60 (III)	0,0	0,0	5,0	10,6	55,8	28,6	0,3	38,6	6,0	4,3	2,13	3,08			
	B 90—100	0,0	0,0	5,8	8,8	52,8	32,6	0,2	39,8	6,0	4,3	2,86	3,47			
	B 140	0,0	0,0	0,8	10,4	55,2	33,6	0,2	36,3	5,9	4,2	2,22	2,94			

Buntsandstein.

Charakteristische Profile guter Wuchsleistung.

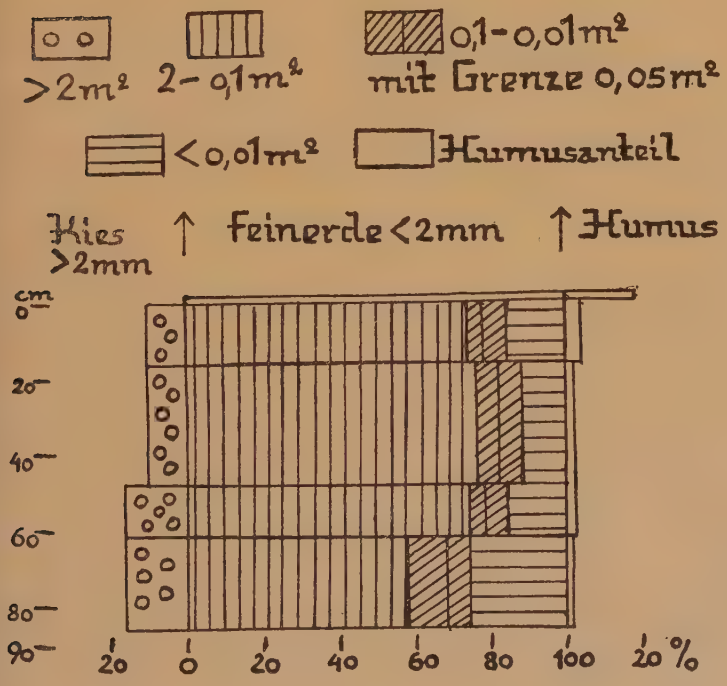

Fig. 1
Prof. Nr. 1
s. S. 51

Buntsandstein.

Charakteristische Profile guter Wuchsleistung.

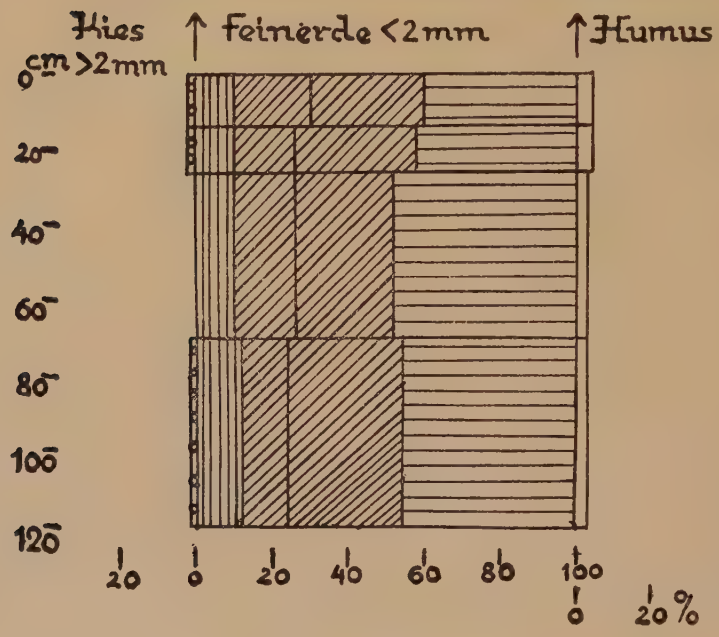

Fig. 2
Prof. Nr. 4
s. S. 51

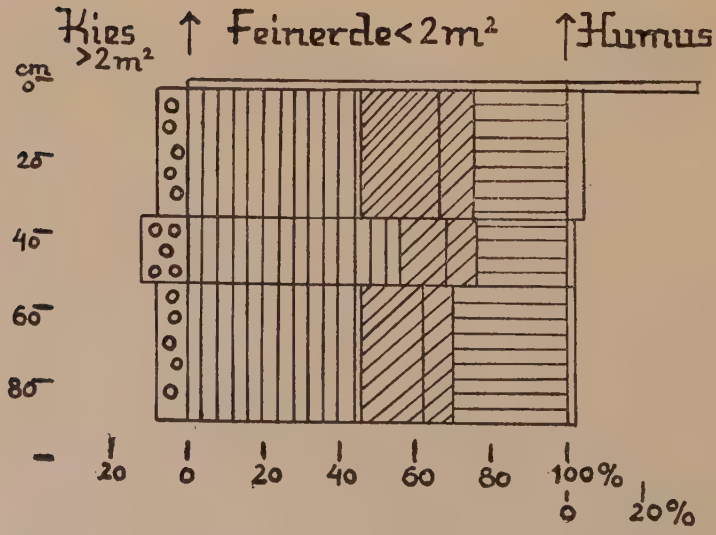

Fig. 3
Prof. Nr. 2
s. S. 50

Buntsandstein.

Charakteristische Profile schlechter Wuchsleistung.

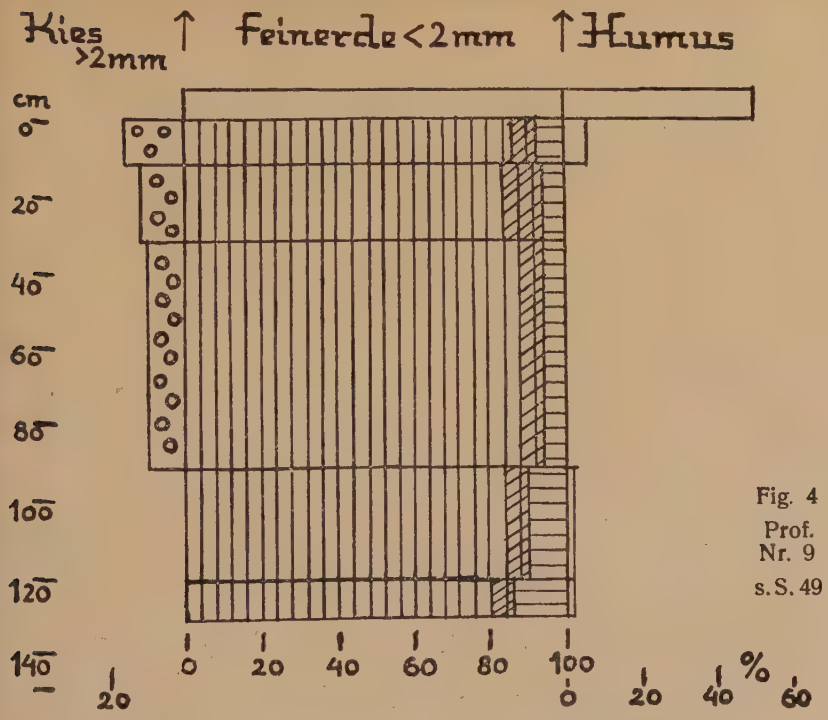

Fig. 4
Prof. Nr. 9
s. S. 49

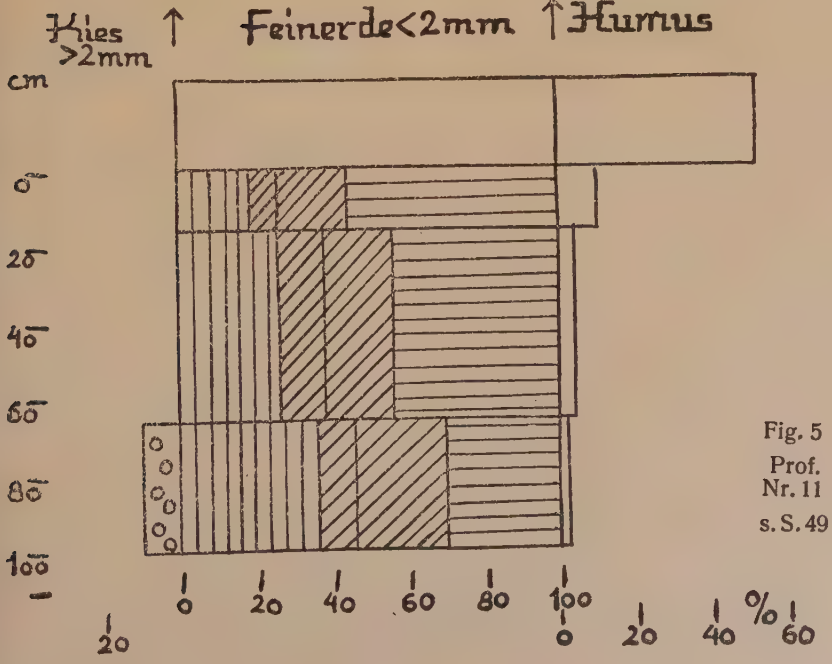

Fig. 5
Prof. Nr. 11
s. S. 49

Urgebirge.

Charakteristische Profile guter Wuchsleistung.

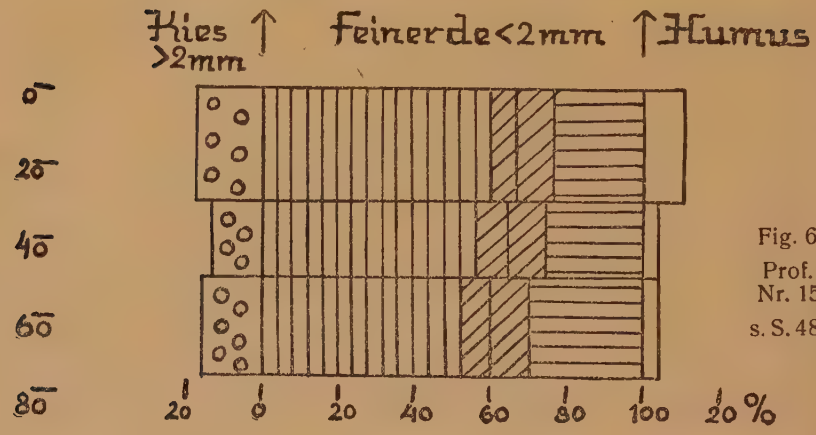

Fig. 6 Prof. Nr. 15 s. S. 48

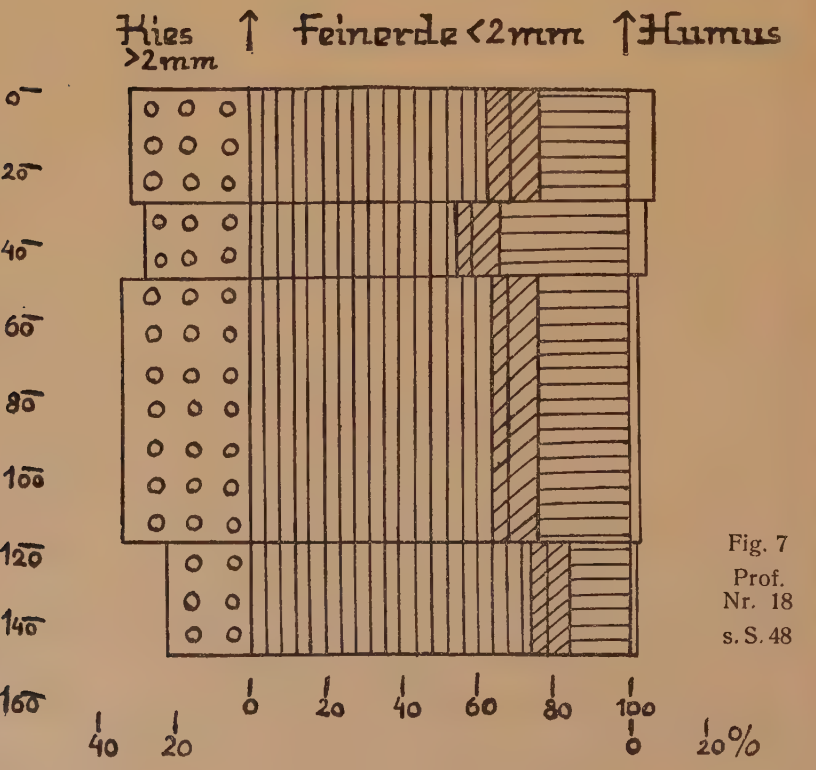

Fig. 7 Prof. Nr. 18 s. S. 48

Urgebirge.

Charakteristische Profile schlechter Wuchsleistung.

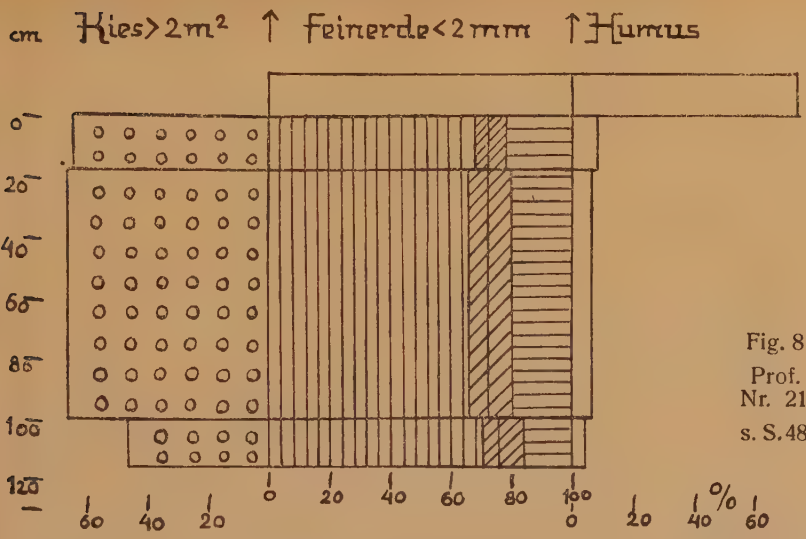

Fig. 8
Prof. Nr. 21
s. S. 48

Profil guter Wuchsleistung auf Lößüberlagerung des Buntsandsteins.

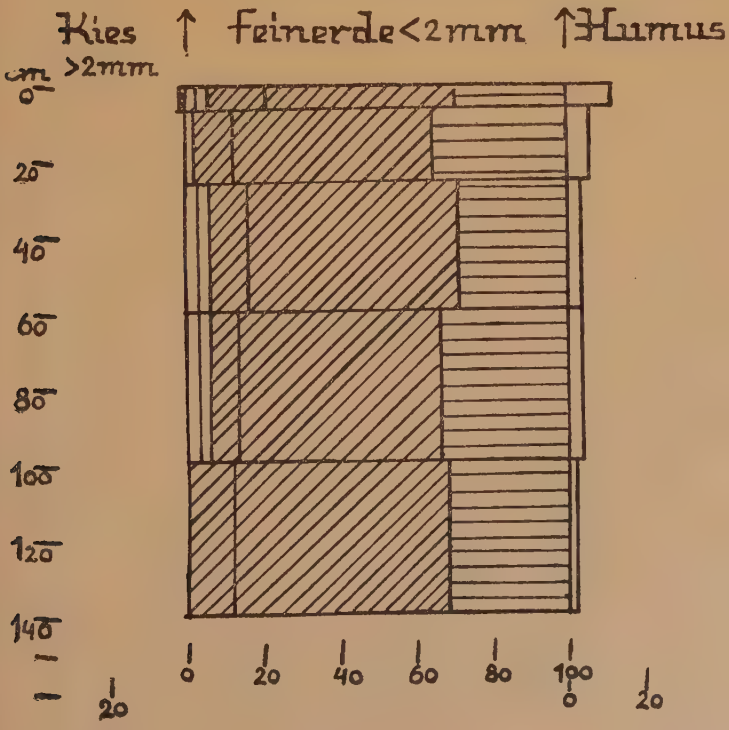

Fig. 9
Prof. Nr. 27
s. S. 51

Der Stand der Kenntnisse und die Untersuchungsresultate.

Die Untersuchungsergebnisse werden im folgenden getrennt für die Böden des Buntsandsteins und des Urgebirges behandelt; das geschieht aus folgender Überlegung: Wenn es auch im allgemeinen gilt, daß die geologische Formation wenig über die aus ihr entstandenen Verwitterungsböden aussagen kann — man muß dabei noch nicht an die extremen Verhältnisse im Keuper denken — so ist doch andererseits die gemeinsame Abstammung verschiedener Böden von einer geologischen Formation und ihrer eigenartigen Ausbildung — Eruptivgestein, marines oder terrestrisches Sedimentgestein — in unseren Breiten so spezifisch, daß man gleiche Bodenarten verschiedener geologischer Bildungen nicht ohne weiteres als gleichwertig zu vergleichen berechtigt ist. Außerdem sind die Verwitterungsböden der Granite und Gneise einheitlich mehr oder weniger lehmiger Art, während Buntsandsteinböden mit Ausnahme des oberen Buntsandsteins sandig sind [1]).

Verglichen werden hier die Böden im Hinblick auf die Wuchsleistung der auf ihnen stockenden Fichtenbestände. Zweckmäßigerweise werden daher die einzelnen Durchwurzelungszonen miteinander verglichen. Dabei erhebt sich allerdings die Schwierigkeit, daß Zone I der schlechten Bonität jedesmal im Trockentorf liegt, also keine Werte für die mechanische Analyse liefern kann.

Die mechanische Zusammensetzung.

Als erster hat sich wohl Albert [1]) mit dem Korngrößenaufbau verschiedener Waldböden beschäftigt. In seiner Untersuchung über Sandböden der Niederlausitz konnte er feststellen, daß sich bei zunehmendem Feinsandgehalt die Bodenflora ändert und die Bonität steigt. So fand er unter Renntierflechte nur einen Feinsandgehalt von 10 %, bei Astmoosdecke einen solchen von 20 %, und bei Grasvegetation 40 %. Nur das Verhältnis von Grobsand zu Feinsand, besonders also die größere oder geringere Fähigkeit des Bodens, Niederschlagswasser festzuhalten, bedingt nach Albert in diesen trockenen Gebieten die Unterschiede in der Bonität. Auch in einer späteren Arbeit [2]) konnte die verschiedene Wuchs-

---

[1]) Auch E. Frank hat l. c. S. 127 darauf hingewiesen, daß man die Wirkung gleicher Säuregrade auf die Pflanze auf Sandsteinböden anders einzuschätzen hat als auf Gneisböden.

[1]) R. Albert, Die ausschlaggebende Bedeutung des Wasserhaushalts für die Ertragsleistung unserer diluvialen Sande. Z. f. F. u. J. 1924 S. 193.

[2]) R. Albert, Der waldbauliche Wert der Dünensande sowie der Sande im allgemeinen, Z. f. F. u. J. 1925, S. 129. Er beschränkt sich in

leistung von bestimmten Kiefernstandorten auf den Feinsandanteil der Böden zurückgeführt werden. Schlechteste Wuchsleistung für Kiefer wurde bei etwa 10 % Feinsandgehalt festgestellt, der bei den angeführten Profilen zudem noch ständig nach der Tiefe zu abnimmt. Beste Standorte hatten 40 % Feinsand, mittlere etwa 25 % und ständige Zunahme nach der Tiefe. Zu ähnlichen Resultaten kam auch Weiss [3]) bei seinen Untersuchungen von dänischen Heidesandböden. Dort ist jedoch das Verhältnis von Grobsand zu Feinsand für eine Charakteristik der Standorte nicht geeignet, da gerade die Böden schlechter Bonität ihren Hauptkorngrößenanteil zwischen 0,5 und 0,05 mm haben [4]), bei ganz geringer Beteiligung der Fraktionen 2—0,5 mm und <0,05 mm im Gegensatz zu denen guter Bonität, deren Hauptanteil zwischen 0,5 und 0,1 mm liegt, bei guter Beteiligung der Fraktionen 2—0,5 mm und <0,1 mm. Weiss findet steigende Bonität bei gleichmäßiger Korngrößenzusammensetzung und steigenden Anteil der feinsten Teile (unter 0,05 mm) und gibt für die erste Bonität 14 %, für mittlere 11 % und für schlechte 8 % dieser Teile an.

Ist der Satz, daß nur eine Verschiebung des Grobsand : Feinsandverhältnisses einen Unterschied in der Bonität bedinge, schon auf Dünensandböden eines anderen Klimas nur beschränkt anzuwenden, so konnte Hartmann [5]) bei seinen ausgedehnten Untersuchungen der Kiefernstandorte des Norddeutschen Diluviums feststellen, daß dort ein ausschlaggebender Einfluß des Korngrößenaufbaus dann nicht mehr gegeben ist, wenn in für die Wurzeln erreichbarer Tiefe kalkhaltige Schichten oder Grundwasser ansteht. Die Scheidung der Korngrößen lediglich nach denjenigen unter und über 0,2 mm bietet keine genügenden Anhaltspunkte für die waldbauliche Beurteilung der Standorte. „Sandböden von durchweg hohem Feinsandgehalt, aber ohne oder mit verschwindend wenig Anteilen an Schluffen und Kolloiden erzeugten hier nur bestenfalls mittlere bis schwach mittlere Kiefernbonitäten. Auf Sanden von extremen Korngrößen, die, wenn auch nur wenig

---

der Arbeit auf Standorte mit 500—600 mm Niederschlag, auf denen die Wurzeln nicht mehr im Einflußbereich des Grundwassers sind, und auf Sande, deren hauptsächlichster Feinerdeanteil in den Korngruppen zwischen 0,2 und 0,02 mm liegt. Er untersuchte dagegen nicht Sande mit wesentlichen Mengen schluffiger oder kolloider Bestandteile.

[3]) Weiss, Fysiske og kemiske Undersogelser over danske Hedejorden, 1929, S. 56 ff.

[4]) I. E. Russel (Boden und Pflanze 1914 S. 70) fand bei Untersuchungen über die mittlere Zusammensetzung der durch die mechanische Bodenanalyse erhaltenen Fraktionen, daß die Teilchen mit einem Durchmesser zwischen 1,0 und 0,04 mm die nährstoffärmsten sind.

[5]) F. K. Hartmann, Kiefernbestandstypen des norddeutschen Diluviums 1928, S. 77.

Prozent, auch der feinsten Bodenteile enthalten, selbst wenn die Fraktion der Feinsande nur schwach vertreten war, lieferten bei den hier untersuchten Beispielen beste Kiefernhöhenbonitäten ... Ein höherer Schluff- und Kolloidgehalt kann zwar das Manko an Feinsandgehalt aufheben oder doch wesentlich ergänzen, aber ein hoher Feinsandgehalt ohne Schluffe und Kolloide vermag nicht Oasen unter Sandwüsten hervorzuzaubern". Dies bestätigt eine weitere Arbeit Alberts [6]), in der gesagt wird, daß Böden mit 50 bis 60 % Feinsandgehalt ohne Schluffe und Ton nur III/IV Kiefernbonität hervorbringen. Ganssen [7]) kommt zu einem ähnlichen Schluß. Er sieht zwar in der Mehrzahl der Fälle keine Möglichkeit, aus der mechanischen Analyse bindende Schlüsse auf die Wachstumsleistung der Kiefer zu ziehen, sagt aber doch unter diesem Vorbehalt und ohne Zahlenangabe, daß Böden mit hohen Anteilen an mittelfeinen Sanden und geringem Gehalt an Kies und Schluff meist besonders schlechte Wachstumsleistung aufzuweisen haben. Ebenso erzielen Überschreitungen eines gewissen Gehalts an Schluff und Tonteilchen (etwa 10 %) zumeist bessere und beste Bonitäten. Was endlich die von Wittich [8]) mitgeteilten Korngrößenzusammensetzungen von Böden mit II/III und III/IV Bonität betrifft, so ist aus diesen Zahlen überhaupt keine Parallelität mit der Wuchsleistung zu ersehen. Wittich hat allerdings nur die Bodenschichten in 10—20 cm Tiefe und keine extremen Wuchsleistungen untersucht.

Diese Arbeiten befassen sich alle mit allochtonen Sandböden und Kiefernstandorten. Für Fichtenstandorte und autochtone Böden fehlen bis jetzt solche Angaben. Nur Raman [9]) hat versucht, ein ideales Mischungsverhältnis der kleinsten Korngrößengruppen anzugeben. In Bezug auf Wasser- und Luftführung des Bodens hält er ein Verhältnis von 1 : 2—3 zwischen abschlämmbaren Bestandteilen (<0,01 mm) und Staub (0.05—0,01 mm) für günstig, während engere Verhältnisse, z. B. 1 : 1 oder 1 : <1 den Boden zu bindig machen.

Den Einfluß von Steinen über Haselnußgröße auf die Fruchtbarkeit des Bodens hat Wollny [10]) untersucht und gefunden, „daß

---

[6]) R. Albert, Standortsansprüche der grünen Douglasie, Z. f. F. u. J. 1931, S. 660.

[7]) R. H. Ganssen, Standort und Ertragsleistung der Kiefer, Z. f. F. u. J. 1932, S. 193.

[8]) W. Wittich, Über die Wirkung intensiver Bodenbearbeitung auf diluvialen Sandböden mit Trockentorfauflage. Z. f. F. u. J. 1930, S. 564.

[9]) E. Ramann, Bodenkunde 1911, S. 294.

[10]) E. Wollny, Über den Einfluß der Steine auf die Fruchtbarkeit des Bodens, Forschungen auf dem Gebiet der Agrikulturphysik Bd. 20, S. 363.

im allgemeinen die Fruchtbarkeit mit zunehmendem Steingehalt eine Erhöhung erfährt, bis zu einer bestimmten Grenze, (ca. 10 bis 20 Vol. %), über welche hinaus sich bei weiterer Steigerung der Steinmenge die Erträge der Pflanzen stetig vermindern“ [11]). An sächsischen Böden fand Hazard [12]), daß ein Grusanteil bis 1/4 und ein Grandanteil bis 1/8 des Bodengewichts günstig wirke. Sonst ist aber die Bestimmung dieser Teile vernachlässigt worden, vielleicht weil man sie als unwesentlich für die allgemeine Beurteilung eines Bodens ansah, oder weil sie bei den meist untersuchten landwirtschaftlich benutzten Böden selten in größerer Menge auftraten. Beides dürfte nach meinen Befunden wenigstens für die Urgebirgsböden im Schwarzwald nicht zutreffen.

Es fällt allerdings sofort die große Variationsbreite der von mir gefundenen Werte für die Kiesanteile auf. Sie liegen bei Standorten guter Bonität in Zone I zwischen 9 und 48 %. Dies könnte darauf hindeuten, daß die Kiese auch hier eine für den Bodenzustand untergeordnete Rolle spielen. Zieht man nun aber für die zwei Profile Nr. 14 und Nr. 16 mit den höchsten Kiesanteilen auch die Zusammensetzung der Feinerde in Betracht, so wird deutlich, daß die Grobsandwerte die niedrigsten für gute Bonität, die Feinsand- und Schluffwerte dagegen sehr hoch sind. Der Kiesanteil scheint also durch die Werte der übrigen Korngruppen ausgeglichen zu sein. Man kann also wohl sagen, daß der Schwerpunkt des Kiesanteils der guten Bonität in Zone I zwischen 20 und 30 % liegt.

In Zone II erreichen die Böden guter Bonität Kiesanteile bis 48 %. Lassen wir die zwei bekannten Profile Nr. 14 und Nr. 16 wieder außer acht, weil auch hier gilt, daß die Feinerdezusammensetzung als Korrektiv des Bodenskeletts gelten kann, dann haben die übrigen Standorte guter Bonität Kiesanteile zwischen 9 und 42 % mit deutlicher Häufung der Werte zwischen 15 und 30 %. Die Standorte schlechter Bonität dagegen solche zwischen 46 und 63 %. Hier ist auch ein Ausgleich durch die Werte der übrigen Fraktionen nicht festzustellen.

In Zone III sind die Profile guter Bonität mit 13—46 % Kies vertreten, wenn man wieder von dem bekannten Profil Nr. 16 absieht, und zwar aus den gleichen auch hier geltenden Gründen. Die schlechten Bonitäten zeigen Werte zwischen 48 und 66 %.

Nach den angegebenen Werten kann im großen und ganzen eine leichte Tendenz zur Zunahme des Kiesanteils nach der Tiefe bei beiden Bonitäten beobachtet werden. Stärker ausgeprägt allerdings bei schlechten Bonitäten als bei guten.

---

[11]) E. Knickmann und M. Helbig l. c. geben einen Tannenstandort I. Bonität (Nordhang) mit 70—90 % Steingehalt an.

[12]) zit. nach Raman, Bodenkunde, 1911, S. 294.

Die Zusammensetzung der Feinerde (<2 mm) ist in allen Zonen und durch alle Bonitäten ziemlich gleichmäßig, so daß eine zahlenmäßige Unterscheidung der Standorte nicht gemacht werden kann. Hohen Grobsanddaten stehen niedere des Feinsands und des Schluffs entgegen. In Zone I ist der Grobsandgehalt 49 bis 62 %, der des Feinsands 14—22 % und der des Schluffs 18 bis 29 %. In Zone II beträgt der Grobsandanteil 49—68 %, der Feinsandanteil 11—26 % und der Schluffanteil 18—33 %. Im Grobsand nehmen zwei Profile der schlechten Bonität die höchsten Werte ein, den niedersten ein Profil guter Bonität. Im Feinsand wird der höchste Wert von dem Profil mittlerer Bonität (Prof. Nr. 20) und der niederste von einem Profil schlechter Bonität gestellt. Der Schluffgehalt liegt für die schlechten Böden in einem auffallend engen Rahmen (21—24 %), während die guten Bonitäten höhere (bis 33 %) als auch niederere (bis 18 %) Werte erreichen. Der Grobsandgehalt der Zone III zeigt wieder durchgehend hohe Werte (51—66 %), die über die guten und schlechten Bonitäten ebenso gleichmäßig verteilt sind wie die niederen Werte des Feinsands (12—25 %). Der Schluffgehalt zeigt das aus Zone II bekannte Bild: innerhalb der geringen Werte halten die guten Bonitäten die Extreme (16—31 %), während die schlechten Bonitäten nur zwischen 18,5 und 26 % liegen, wenn man das aus dem Rahmen fallende Prof. Nr. 16 (Orterde) übergeht.

Aus diesen Zahlen geht hervor, daß das Grobsand : Feinsandverhältnis für alle hier untersuchten Urgebirgsböden nicht die Rolle spielt, wie bei den von Albert untersuchten Dünensanden. Auch der Anteil des Schluffs ist für die Güte dieser Böden bei weitem nicht so ausschlaggebend wie dies im allgemeinen für Böden angenommen wird. Gleichmäßig mit der Bonität wechselnd ist allein der Kiesanteil (s. Fig. 6—8). Sein geringerer oder stärkerer Einfluß auf die Durchlässigkeit und somit auf eine konstante Bodenfeuchtigkeit und Fruchtbarkeit scheint hier ausschlaggebend für die Ertragsfähigkeit zu sein. Daß man aber bei solcher Beurteilung nicht schematisch verfahren darf, zeigen die beiden Standorte mit guter Bonität trotz hoher Kiesanteile. Daß endlich das Verhältnis von Ramann, das nur die Korngrößen unter 0,05 mm Durchmesser berücksichtigt, hier vollends ungeeignet zu einer Charakterisierung des Standorts ist, muß nur erwähnt werden.

Konnten bei den Verwitterungsböden des Urgesteins die einzelnen Korngrößengruppen getrennt betrachtet werden, ohne die Übersichtlichkeit zu gefährden, weil die Zusammensetzung für Feinerde für alle Profile fast gleichartig ist, und nur der Anteil der Kiese wechselt, so war diese Betrachtungsweise bei den Buntsandsteinböden nicht möglich. Sie kann das Wesentliche dort nicht

treffen, da die guten Bonitäten auf Böden mit einer relativ regelmäßigen Zusammensetzung stehen und die Richtung nach einer Verschlechterung durch eine Vergrößerung des Anteils der abschlämmbaren Bestandteile oder des Grobsands gegeben ist. Dadurch kommt eine gewisse Vertretbarkeit einer Korngrößengruppe durch eine andere zustande, worauf schon Ramann hingewiesen hat, und verursacht labile Verhältnisse, die nicht durch die verschieden starke Beteiligung einer einzigen Korngrößengruppe bei den Böden deutlich wird, sondern nur durch die zahlenmäßige Zusammenschau des gesamten Korngrößenaufbaus eines Bodens. Zur Vereinfachung setzte ich die Summe der Fraktionen der Feinerde (also das Verhältnis von Grobsand : Feinsand : Schluff) = 10 und gab, falls er nennenswert ist, noch den prozentualen Kiesanteil an. Daß durch diese recht rohen Zahlen solche Verhältnisse natürlich nicht charakterisiert werden können, in denen der für eine Korngruppe gefundene Wert im Verhältnis mit den anderen Werten gerade noch oder aber gerade nicht mehr ausreicht, um eine bestimmte Bonität erwarten zu lassen, braucht kaum gesagt zu werden. Es sollen daher im Folgenden von allen untersuchten Profilen nur die besprochen werden, deren Boden einen für die Bonität typischen Korngrößenaufbau zeigt.

Geringe Wuchsleistung kommt auf zwei entgegengesetzt zusammengesetzten Böden vor. Das eine Extrem wird durch das Profil Nr. 11 (Fig. 5) charakterisiert. Es hat in Zone II 18 % Grobsand, 26 % Feinsand und 56 % Schluff; wird also durch das Verhältnis 2 : 2 : 6 (ohne Kiesanteil) dargestellt. Das Charakteristikum des Profils ist die über normales und deshalb optimales Maß hinausgehende Beteiligung des Schluffs mit den bekannten Nachteilen: Sehr dichte Lagerung und dadurch geringe Luftkapazität und Wasserdurchlässigkeit, hohe Wasserkapazität und verhältnismäßig niedere Temperatur, große Kohärenz und hoher mechanischer Widerstand gegen das Eindringen der Wurzeln. All dies zusammen, vor allem aber der Wasser- und Lufthaushalt des Bodens bedingen die geringe Fichtenbonität. Ganz anders ist die Zusammensetzung der Zone II des Profils Nr. 9 (Fig. 4). 16 % Kies und 86 % Grobsandanteilen stehen nur 7 % Feinsand und 7 % Schluff gegenüber, die nicht mehr ausreichen, um dem Boden genügende Bindigkeit zu verleihen. Große Wasserdurchlässigkeit, geringe wasserhaltende Kraft und Nährstoffarmut sind die äußeren Kennzeichen des Verhältnisses 8 : 1 : 1, das sich in Zone III nur insofern ändert, als nicht mehr 16 % Kies auftreten, sondern 11 %.

Beide Mineralböden sind nur schwach durchwurzelt, Profil Nr. 11 nur in dem obersten Teil, jedoch ziemlich reichlich. Profil

Nr. 9 dagegen ist bis in größere Tiefen durchwurzelt, jedoch nur sehr spärlich. Daß Standorte schlechter Bonität nicht allein auf Böden der angeführten Korngrößenzusammensetzung vorkommen, zeigt deutlich Profil Nr. 6, dessen Zone I und II ein Verhältnis von 5 : 2 : 3 (mit 5 bzw. 17 % Kies) und dessen Zone III ein solches von 4 : 3 : 3 (10 % Kies) aufweist. Die hier vermutlich das Wachstum beeinflussenden Faktoren sollen später im Zusammenhang besprochen werden (s. S. 58).

Ferner geht aus den gefundenen Werten hervor, daß die Analyse des mechanischen Aufbaus, besonders der Anteil der abschlämmbaren Teile nicht immer eine vollständige Klärung der Verhältnisse herbeizuführen vermag. So fällt auf, daß der A_1-horizont von Profil Nr. 11 mit einem Verhältnis von 2 : 2 : 6 (ohne Kiesanteil) leichter zu bearbeiten und deshalb auch verhältnismäßig lockerer und durchlässiger ist als der wurzellose C-horizont des Profils Nr. 7 mit einem Verhältnis von 4 : 2 : 4 (ohne Kiesanteil). Ähnliches geht aus Resultaten hervor, die Zunker [13]) bei schwerdurchlässigen Böden aus drainierten landwirtschaftlich benützten Standorten fand. Ein „bindiger Boden mit stauendem Grundwasser" hatte z. B. 38,2 % abschlämmbare Bestandteile, ein „toniger Sand" 5,2 % und ein „humoser schwerer Lehm" 76,8 %. In diesem Zusammenhang soll auch auf die zum Teil sehr niederen Mengen abschlämmbarer Bestandteile der Orterde und Ortsteinzonen hingewiesen werden [14]). Es ist also scheinbar nicht nur die Quantität, sondern besonders die Qualität dieser Teile für den Bodenzustand maßgebend.

Standorte guter Bonität lassen sich noch schwieriger durch typische Zahlenverhältnisse festlegen, da sie in der Mitte zwischen den beiden Extremen liegen (Fig. 1, 2, 3). Am deutlichsten wird ihre Bodenzusammensetzung vielleicht durch die bei dem Profil Nr. 2 (Fig. 3) gefundenen Werte wiedergegeben. In Zone I ist das Korngrößenverhältnis der Feinerde 5 : 3 : 2 (8 % Kies), in Zone II 6 : 2 : 2 (13 % Kies) und in Zone III 5 : 2 : 3 (7 % Kies). Der Kiesanteil liegt bei Böden mittlerer Zusammensetzung zwischen 8 und 37 %, eine Spanne, in der etwa sein Optimum liegen dürfte. Daneben kommen aber auch sandigere Standorte vor: Profil Nr. 1

---

[13]) Fr. Zunker, Eignung der mechanischen Verfahren zur Bestimmung der Dränentfernung. Der Kulturtechniker, Bd. 31, 1928, S. 38. Die hier angegebenen Analysenresultate stammen von Griesberger (Zürich), sie wurden mit dem Kopeky-Schlämmapparat nach einstündigem Kochen der Böden gewonnen, stellen aber Gewichtsprozente absolut trockenen Bodens dar, sodaß sie mit meinen Zahlen nicht ohne weiteres zu vergleichen sind.

[14]) s. auch die entsprechenden Werte bei F. K. Hartmann, Wald- und Bestandstypen des norddeutschen Diluviums 1932, S. 59.

(Fig. 1), hat ein Verhältnis von 7 : 1 : 2 (etwa 10 % Kies). Ebenso fanden sich auch tonigere: Profil Nr. 4 (Fig. 2) hat ein Verhältnis von 1 : 5 : 4 (etwa 2 % Kies). Auch das aus einer Lößüberlagerung des oberen Buntsandsteins stammende Profil Nr. 27 mit einem Verhältnis von 1 : 6 : 3 trägt einen Fichtenbestand guter Wuchsleistung (Fig. 9). Allen diesen Böden ist nur ein Schluffanteil, der nicht unter 2 und nicht über 4 Feinerdeanteile geht, gemeinsam.

Aus diesen Ergebnissen geht hervor, daß sich auch für Buntsandsteinböden keine eindeutige Beziehung zwischen Feinerdeanteil oder Feinerdeaufbau des Bodens und seiner Wuchsleistung ergibt. Ist auch ein verhältnismäßig normaler Aufbau, wie er etwa durch die Profile Nr. 2 und 3 dargestellt wird, im allgemeinen Bedingung für gute Bonität, so ist doch andererseits ein gewisses Abweichen davon nicht immer alleinige Ursache einer schlechten.

Das hygroskopische Wasser.

Um noch einen Einblick in die Art der abschlämmbaren Bestandteile zu gewinnen, wurde die Menge des hygroskopisch gebundenen Wassers bestimmt, dessen Größe vor allem durch den Anteil an Ton- und Kolloidteilchen bedingt ist. Die Anzahl der Daten ist zu gering, um bestimmte Werte für einzelne Zonen der verschiedenen Bonitäten der beiden Böden angeben zu können. Es liegt schon deshalb außer jedem Betracht, solche Werte allein für die Charakterisierung eines Bodens heranzuziehen: sie sind nur Anhaltspunkte für die nähere Aufklärung der Zusammensetzung derjenigen Teilchen, die bei der Fraktionierung durch den Spülapparat abgeschlämmt werden.

Urgebirgsböden und Buntsandsteinböden unterscheiden sich scharf voneinander. Die ersten zeigen Werte, die auch bei den sandigsten Profilen nicht unter 1 % gehen, wodurch besonders bei den guten Bonitäten ein gewisser Ausgleich zu den relativ hohen Kieswerten geschaffen ist. Interessant ist in diesem Zusammenhang das beste Profil der schlechten Wuchsleistung, Nr. 22 (III/IV Bonität), bei dem angenommen werden kann, daß dort gerade durch die verhältnismäßig hohen Ton- und Kolloidanteile noch diese Wuchsleistung erzielt wird. Auffällige Unterschiede, außer im A_0-horizont, sind zwischen den Böden der beiden Wuchsleistungen nicht vorhanden.

Dies gilt auch für die Buntsandsteinböden, deren Werte jedoch allgemein bedeutend tiefer liegen. Für gute Bonitäten scheinen sie bis 1 % zu liegen, steigen sie darüber an, so bedeutet das auf diesen Böden schon eine für das Fichtenwachstum nicht mehr günstige Verdichtung (Profil Nr. 6 u. Nr. 11). Liegen sie unter etwa 0,5 %, so kann die Lockerheit des Bodens für die

Pflanze zu groß sein. Wie sehr man dabei aber den Einfluß des Gehalts organischer Bestandteile zu berücksichtigen hat, zeigen die Werte von Profil Nr. 9, dessen reiner Bleichsand mit 0,1 % vertreten ist, während seine oberste, mit humosen Bestandteilen durchsetzte Zone einen Wert von 0,9 % hat. Auffällig ist endlich der geringe Wert des reinen Klebsands mit 1,3 %. Es scheint als ob dieser Boden hauptsächlich aus feinen und feinsten Sanden zusammengesetzt sei, zwischen die stark wasserhaltige, den Boden aufquellende Kolloide eingelagert sind. Genaueres darüber kann aus diesen Zahlen noch nicht geschlossen werden.

Der Reaktionszustand des Bodens.

Die Fichte gilt für eine azidiphile Pflanze, ihre Pendelweite wird im allgemeinen zwischen pH 3,4 und 7,4 angegeben, ihr Optimum zwischen pH 4,3 und 5,5. Aus diesem Grunde und auf Grund von Ergebnissen einiger untersuchter Fichtenböden kam Krauss [1]) zu der Ansicht, daß „die Bodenazidität an sich für gewöhnlich nicht begrenzender Wachstumsfaktor sei" und „daß die profilmäßige Aziditätsuntersuchung nur gestatte, mit einfachen Mitteln einen verhältnismäßig intimen, zahlenmäßigen Einblick in den Waldbodenzustand zu gewinnen". Viel zuversichtlicher ist Schwarz [2]). Nach ihm stellt die Azidität einen brauchbaren und zuverlässigen „Boden- und Bestandsgliederungs- und -entwicklungsweiser" dar. Das Zahlenmaterial, auf das sich dieser so sehr umfassende Faktor zur Bestands- und Standortscharakterisierung gründet, ist allerdings nur an den vier verschiedenen Expositionen einer einzigen typisch ausgebildeten Kuppe des Wiener Waldes gewonnen. Schwarz hat dabei sogar nur das pH der obersten 10 cm im H_2O- und KCl-Auszug mit dem Merck'schen Universalindikator bestimmt. Frank [3]), der sich eingehend mit der Azidität von Standorten im Schwarzwald beschäftigte, kommt zu einer Auffassung, die etwa die Mitte zwischen den beiden vorigen hält. Unter der Berücksichtigung, daß die Azidität nur einer von den Faktoren ist, die das Pflanzenwachstum bedingen, glaubt er ihr im Walde eine wachstumsbeschränkende Wirkung zuschreiben zu können. So findet er für Fichtenstandorte auf Gneis die Grenze zwischen guten und schlechten Bonitäten in Tiefen von 25—40 cm bei pH 4.5 [4]) im Wasserauszug, und

[1]) G. Kraus, Zur Aziditätsbestimmung in Waldböden, Fw. Crbl. 1924, S. 85 ff. und 134 ff.

[2]) H. Schwarz, Über einige Beziehungen von Boden und Bestand (Holzart) im Wiener Wald, W. a. F. u. J. Z. Bd. 49, 1931, S. 176.

[3]) E. Frank, Über Bodenazidität im Walde 1927, S. 130.

[4]) Frank, l. c. gibt die Grenze für Fichte und Tanne gemeinsam als pH 3,4 an. Die Fichtenstandorte guter Bonität allein betrachtet haben

für die gleiche Tiefe eine Grenzaustauschazidität von 60 ccm n/10 NaOH [5]). Daß diese Verhältnisse auch auf Sandböden (nicht unbedingt dagegen auf Grundmoränen) übertragen werden können, zeigt eine dort S. 128 aufgeführte Tabelle, auf der für etwa 15 cm Tiefe die pH-Zahlen aller reinen Bestände aufgeführt sind. Von 25 Fichtenbeständen schlechter Bonität liegen 19 unter pH 4,5 und von 18 solcher guter Bonität 17 über pH 4,5. Mit der Azidität von Fichtenbeständen auf Böden des mittleren Buntsandsteins hat sich Heuell [6]) befaßt. Er hat die aktive Azidität als unwesentlich für die Charakterisierung des A_0-horizonts unberücksichtigt gelassen [7]), und nur die Austausch- und hydrolytische Azidität titrationsmäßig bestimmt. Seine Bestände verteilen sich etwa gleichmäßig über die II, II/III u. III Bonität. Er hat also Standorte schlechter Wuchsleistung nicht untersucht. Immerhin läßt sich aus seinen Angaben etwa feststellen, daß die Austauschaziditätswerte (nur diese interessieren hier) für den A_0-horizont so sehr schwanken, daß man höchstens eine Grenze nach unten, aber keine ungefähre Mittelwertsspanne angeben kann. Sie betragen für die zweite Bonität 33—131 ccm, für die II/III Bonität 40—194 ccm und für die III Bonität 41—176 ccm. Die Werte für den A_1-horizont sind dagegen einheitlicher, allerdings für alle Standorte etwa gleichmäßig. Sie betragen für die II Bonität 35 bis 63 ccm, für die II/III Bonität 34—66 ccm und für die III Bonität 28—60 ccm. Wobei überall eine deutliche Häufung der Werte zwischen 40 und 50 ccm zu beobachten ist. Diese letzten Ergebnisse bestätigen die Angaben Franks und sind damit eine Stütze für den Satz von der wachstumsbeschränkenden Wirkung der Azidität bei Fichten [8]).

Ganssen [9]) kommt bei seiner schon erwähnten Arbeit für die dort untersuchten Standorte und die Kiefer zu ganz anderen Resultaten. Bodenazidität und Ertragswert stehen nur in außerordentlich lockerer Beziehung zueinander. Beim pH-Wert nach

jedoch die Grenze pH 4,6. Priehäusser, l. c. S. 848, findet auf reinem Humusboden den Grenzwert für Fichtenwachstum bei pH 3,5, für Tanne dagegen bei pH 3,2.

[5]) Alle angeführten Zahlen bedeuten . . . ccm n/10NaOH auf 100 gr absolut trockenen Boden.

[6]) Heuell, Bestandsabfallzersetzung, Mitt. d. Fwt. u. Fws. 1930, S. 2.

[7]) Soweit ermittelt, findet er im A_0- u. A_1-Horizont Werte zwischen 0,4 und 1,8 ccm.

[8]) Dies konnte Frank l. c. außerdem noch durch seine schönen Untersuchungen über die Keimung von Waldsamen in verschieden sauren Medien nachweisen.

[9]) Ganssen, l. c. S. 287 ff.

Trénel fehlen bei den besten Standorten die am stärksten sauren (unter pH 3,2) bei den geringsten Standorten die am schwächsten sauren (über pH 4,2) Werte. Bei den übrigen Bonitäten fehlt jede Beziehung. Zwischen Austauschazidität des Mineralbodens und der Ertragsleistung konnte überhaupt keine Gesetzmäßigkeit festgestellt werden, bei der Azidität des Auflagehumus eine ähnliche, wenn auch noch undeutlichere, als beim pH-Wert [10]).

Hartmann [11]) dagegen hält, ähnlich wie Frank, den Säuregrad für einen der ökologischen Faktoren mit dem sich die Waldgesellschaften gegeneinander abgrenzen lassen [12]). Da er innerhalb der einzelnen Waldgesellschaften nur gute und mittlere Wuchsleistungen untersucht, ist eine weitere Gliederungsmöglichkeit aus den angegebenen Zahlen nicht mehr zu ersehen.

Die Ergebnisse meiner eigenen Untersuchungen sind folgende: Bei den Urgebirgsböden ist die pH-Zahl der akt. Azid. guter Bonitäten in Zone I zwischen pH 4,6 und 5,5 gelegen, diejenige schlechter Bonitäten dagegen zwischen pH 4,0 und 3,2. Die Austauschazidität guter Böden zwischen pH 4,3 und 4,6, die schlechter Böden zwischen pH 3,4 und 2,8. Ähnlich sind die Unterschiede bei der Titrationsazidität. Sie beträgt im H_2O-Auszug bei guten Bonitäten in dieser Zone 1,0 bis 4,7 ccm und bei den schlechten 4,8 bis 9,2 ccm. Im KCl-Auszug bei den guten Bonitäten 12 9 bis 56,8 ccm und bei den schlechten 52,3 bis 84,4 ccm. In Zone II verkleinert sich der Abstand zwischen den Werten in den beiden Bonitäten schon etwas. Die akt. Azid. guter Bonitäten liegt zwischen pH 4,7 und 5,5, die schlechter zwischen pH 4,4 und 3,8. Die Austauschazidität guter Böden liegt zwischen pH 4,2 und 4,6 und die schlechter zwischen pH 4,1 und 3,4. Die aktive Titrationsazidität dieser Zone beträgt 0,8 bis 2,1 ccm bzw. 1,9 bis 4,6 ccm, wobei das einzige Profil [13]) mit nur 1,9 ccm im Orterdeband ganz aus der

---

[10]) Meyle und v. Wettstein-Westerheim (Bodensäureschäden im Walde, Fortschr. d. Landw. 7. Jahrg. 1932, S. 72) konnten von einem Fall berichten, wo auf gleichmäßig leichtestem Sandboden die Bodensäure der das Wachstum der Kiefer begrenzende Faktor ist. Die Fläche ist gleichmäßig und gleichzeitig aufgeforstet. Neben verkrüppelten Bäumen (30 cm hoch) standen in geringem Abstand normale drei Meter hohe Pflanzen. Mit dem Trénel'schen Acidimeter wurden auf der Kümmerfläche Werte von pH 3,8 bis 4,6 gemessen, zwischen den daneben gut entwickelten Kiefern zeigte der Boden Werte von pH 5,8 bis 6,2.

[11]) F. K. Hartmann, Zur soziologisch-ökologischen Charakteristik der Waldbestände Norddeutschlands, Silva 1933, S. 246.

[12]) T. V. Aaltonen, Über den Aziditätsgrad des Waldbodens, Comm. ex inst. quest. forest. Finl. edit. 9. findet eine Abnahme der pH-Zahl bei schlechter werdenden Waldtypen.

[13]) Profil Nr. 25.

Reihe der übrigen, zwischen 3,2 und 4,6 ccm liegenden, herausfällt. Die Austauschtitrationsazidität beträgt 11,4 bis 35,5 ccm bei guten Standorten, und 41,7 bis 115,5 ccm bei schlechten. In Zone III sind die Unterschiede in der pH-Zahl der akt. Azid. pH 5,5 und 4,8 bezw. pH 5,2 und 4,6. Die der Austauschazidität pH 4,6 und 4,3 bezw. 4,6 und 4,4. Die Zahlen für die Titrationsazidität stellen sich folgendermaßen dar: Akt. Azid. 0,3 bis 3,1 ccm bezw. 0,6 bis 2,2 ccm, Austauschazidität 4,3 bis 27,7 ccm bezw. 3,8 bis 45,2 ccm. Aus diesen Zahlen ist ganz allgemein zu sehen, daß sich die Unterschiede in den Werten der verschiedenen Bonitäten nach der Tiefe zu verwischen. So ist die pH-Zahl der Zone III in der aktiven Azidität für alle Standorte gleichmäßig. In der Austauschazidität haben sogar zwei Standorte guter Bonität niedrigere Zahlenwere als die schlechter Bonität. Ähnliche Verhältnisse zeigt die Titrationsazidität dieser Zone. Für die beiden anderen Zonen lassen sich jedoch Unterschiede feststellen. So erscheint die von Frank angegebene Grenze von pH 4,6 für die aktive Azidität guter Böden. Mit einer Spanne zwischen schlechtestem Profil guter Bonität und bestem schlechter Bonität von pH 4,3 bis 3,4 ist der Unterschied beider Bonitäten in der Austauschazidität der Zone I am größten. Er nimmt nach Zone II rapide ab, wo nur noch ein Unterschied von pH 4,2 bis 4,1 vorhanden ist. Für die Titrationsazidität kann in den KCl-Werten beider Zonen keine Grenze zwischen guten und schlechten Bonitäten angegeben werden. Dagegen ist dies bei den H_2O-Werten möglich. Sie liegt in Zone I bei 4,5 ccm und in Zone II bei etwa 2,5 ccm. Beide Bonitäten unterscheiden sich außerdem in der Entfernung der Titrationswerte des H_2O- und KCl-Auszugs. Während sie bei den guten Bonitäten im allgemeinen geringer ist, liegen die Werte bei den schlechten Bonitäten meist sehr weit auseinander.

Daß die Werte bei den Buntsandsteinböden wegen der verschiedenen hier ausgebildeten Bodentypen nicht so gleichmäßig ausfallen würden wie bei den Urgebirgsböden, war vorauszusehen. Eine gewisse Einheitlichkeit zeigen allein die Standorte guter Wuchsleistung, bei denen auch hier die aktive Azidität den Wert pH 4,6 nirgends unterschreitet. So liegt sie in Zone I zwischen pH 4,6 und 4,8, in Zone II zwischen pH 4,6 und 5,6 und in Zone III zwischen pH 4,5 und 5,4. Für die Austauschazidität liegen die entsprechenden Werte in Zone I zwischen pH 4,4 und 4,3, in Zone II zwischen 4,5 und 4,3 und in Zone III zwischen pH 4,7 und 4,4. Es sind hier also im ganzen nicht so niedrige pH-Zahlen wie bei den Urgebirgsböden gefunden worden. Ebenso erreicht die Titrationsazidität sowohl im H_2O-Auszug (Zone I 1,2 bis 2,5 ccm, Zone II 0,4 bis 1,0 ccm, Zone III 0,4 bis 0,9 ccm) als auch im KCl-Auszug (Zone I 27,2 bis 41,6 ccm, Zone II 12,0 bis 36,7 ccm, Zone III 14,2 bis 33,1 ccm) nicht so hohe, allerdings auch nicht so niedrige

Werte wie dort. Dies gilt im großen und ganzen auch für alle Werte der schlechten Wuchsleistungen mit Ausnahme der Zone II, für die die pH-Zahl der aktiven Austauschazidität tiefer liegen.

Trotzdem lassen die Ergebnisse der meisten Untersuchungen keine deutliche Scheidung der schlechten Wuchsleistungen von den guten zu. Die Werte der schlechten Wuchsintensitäten liegen auch im Gebiet der Werte für die guten, und nach beiden Seiten weit darüber hinaus. Allein die pH-Zahl der Austauschazidität scheint ein Kriterium für die beiden Wuchsleistungen zu sein. In Zone I liegt sie für die guten um pH 4,3, für die schlechten etwa zwischen pH 3,0 und 3,7. In Zone II für die guten um pH 4,4 und für die schlechten etwa zwischen pH 3,8 und 4,1. Endlich in Zone III um pH 4,5 für die guten und etwa zwischen pH 3,8 und 4,3 für die schlechten.

Zur Charakterisierung eines gesunden Waldbodens errechnete Heuell [14]) einen Austauschaziditätsquotienten. Ist der Quotient [15]) Austauschazidität des A_0-horizonts : Austauschazidität des A_1-horizonts kleiner als 1, so soll dies auf gesunden Waldboden deuten, da dann nicht entbaster Boden so nahe der Oberfläche ansteht, daß die Wurzeln ihn noch erreichen, diese basenreiche Nahrung liefern und so basenreiche Streu abgeworfen wird. Ganz abgesehen davon, daß man mit diesem Quotienten verschieden tief durchwurzelte Profile nicht vergleichen kann, errechnete ich aus den hier gefundenen Zahlen gerade für schlechte Standorte einen AAQ. < 1. Knickmann und Frank, die beide das Anwachsen der Austauschazidität im A_1-horizont schon beobachteten, erklärten dies einfacher und für unsere Verhältnisse richtig durch Einschwemmung humoser und toniger Stoffe [16]). Nimmt man noch hinzu, daß bei dichteren Böden durch diese Einwaschungen Sauerstoffmangel entstehen kann, so hat man die natürlichste Erklärung für die Erscheinung, daß alle hier untersuchten dichteren Böden einen AAQ. < 1 haben, während die lockeren, bei denen sich die eingewaschenen Substanzen auch noch auf einen größeren Raum verteilen, einen AAQ. > 1 haben. Die dichteren Böden sind nun tatsächlich bis zu einem gewissen Grade bessere Fichtenstandorte als die lockeren. Die Berechnung eines AAQ. wäre höchstens sinnvoll, um bei gleichartigem A_0-horizont über die Luftverhältnisse des A_1-horizontes Auskunft zu erhalten.

---

[14]) Heuell, l. c. S. 17 ff.
[15]) Abgekürzt AAQ.
[16]) E. Frank, l. c. S. 42.

Die organische Substanz der Böden.

Die Bewertung der organischen Substanz als Pflanzennährstoff und Bodenanteil hat sehr gewechselt. Thaer nahm noch an, daß die Fruchtbarkeit eines Bodens ganz vom Humus abhänge, denn außer dem Wasser sei er es allein, der den Pflanzen Nahrung gebe [1]). Andererseits fand Schütze [2]) bei seinen Untersuchungen keinen Zusammenhang zwischen dem Humusgehalt und der Ertragsleistung eines Bodens. Für Atterberg [3]) ist der Humusgehalt eines Bodens eines der wichtigsten Einteilungsprinzipien der Böden, da die Güte eines Ackerbodens gewöhnlich nach seinem Humusgehalt bemessen werde. Ähnlich äußern sich Vogel v. Falkenstein [4]), Ramann [5]) und Mitscherlich [6]).

Mit der Bedeutung, die der Humus für Waldpflanzen hat, beschäftigen sich Versuche von Möller [7]). Für 13jähr. Fichten fand er in humuslosem Sand eine höchste Höhe von 70 cm, in humusgedüngtem Sand dagegen eine solche von 4,5 m. Seine allerdings denkbar extrem angeordneten Versuche zeigen, daß eine Humusdüngung nachhaltig zu wirken vermag. Später hat dann Hesselmann [8]) und Melin [9]) ähnliche Versuche für schwedische Verhältnisse angestellt und dabei gefunden, daß es vor allem auf den Humuszustand ankommt, ob eine Wachstumsförderung erreicht wird oder nicht. Was die Bedeutung des Humus für die Fichte betrifft, so ist sie am besten daraus zu ersehen, daß sich diese Pflanze mit Hilfe von Pilzsymbionten allein aus der organischen Substanz ernähren kann. Ferner nehmen Schwappach und Vater [10]) an, daß in den Beständen dieser Holzart meist der Stickstoff im Minimum vorhanden sei [11]). Auch ich habe bei den Beobach-

---

[1]) Zitiert nach Stebutt, Lehrbuch der allgemeinen Bodenkunde 1930, S. 147.

[2]) Schütze l. c. S. 375.

[3]) Atterberg, Die mechanische Bodenanalyse und die Klassifikation der Mineralböden Schwedens. I. M. f. B. 1912, S. 327 f.

[4]) Vogel v. Falkenstein l. c. S. 459.

[5]) Ramann, Bodenkunde, 1911, S. 170.

[6]) Mitscherlich, Bodenkunde, 1923, S. 235.

[7]) A. Möller u. E. Haussendorff, Humusstudien. Z. f. F. u. J. 1921. S. 789.

[8]) H. Hesselmann, Die Bedeutung der Stickstoffmobilisierung in der Rohhumusdecke für die erste Entwicklung der Kiefern- und Fichtenpflanze, Medd. från statens skogsförsöksanstalt, Hft. 23, 1927.

[9]) E. Melin, Die Ausbildung der Kiefernpflanze in verschiedenen Rohhumusformen, l. c. Hft. 23, 1927.

[10]) H. Vater l. c. Y f. Jahrb. 1909.

[11]) R. Lang, Forstliche Bodenkunde, H. d. F. 4. Aufl. Bd. 1 S. 421 macht gegen die auch von Möller vertretene Ansicht die Einwendung, daß „nach den Beobachtungen von Henry und Hesselmann der für die

tungen der Wurzelverbreitung eine deutliche Beziehung zu dem Humusanteil des Bodens gefunden.

Urgebirgsböden guter Wuchsleistung ergaben folgende Werte: Zone I zeigte Anteile von 6,5 bis 13 %; Zone II 3,4 bis 13,1 % und Zone III 2,6 bis 4,9 %. Es ist also eine stetige, bald langsamere, bald etwas raschere Abnahme der Werte nach der Tiefe zu verzeichnen. Bei den schlechten Standorten fällt Zone I als Trockentorfzone natürlich durch sehr hohe Anteile (33 bis 94,0 %) auf. Sie nehmen in Zone II sehr rasch ab, übertreffen aber mit 7 bis 12 % die der guten Standorte noch wesentlich, ebenso wie die Anteile der Zone III mit 2,8 bis 9,4 %. Diese Zahlen zusammen mit denen für die Azidität der einzelnen Zonen zeigen, daß die Beimengungen von organischer Substanz nur bis zu einer bestimmten Größe die Güte eines Bodens steigern kann. Geht ihr Anteil darüber hinaus, ist eine Verwesung nicht mehr garantiert, dann steht ihr Wert im umgekehrten Verhältnis zu ihrer Menge.

Für Buntsandsteinböden guter Bonität liegen die Anteile bedeutend tiefer als für die entsprechenden Standorte der Urgebirgsböden. Dies läßt darauf schließen, daß auch Feinerdegehalt und Humusanteil sich bis zu einem gewissen Grade zu ergänzen vermögen. Der Anteil der Zone I an Humussubstanz beträgt nur 3,5 bis 4,7 %. Nach Zone II zu nimmt er langsam auf 2,1 bis 3,9 % ab und nach Zone III auf 1,9 bis 3,4 %. In dieser Zone unterscheidet er sich von dem entsprechenden Gehalt der Urgebirgsböden nur noch verhältnismäßig wenig. Die schlechten Bonitäten verhalten sich auch hier wieder so, daß sie sowohl geringere als auch höhere Werte zeigen. So ist Zone I mit 21,7 bis 78,6 % vertreten, Zone II und III mit 0,4 bis 10 %. Der regelmäßigen Verteilung des Humus bei den guten Bonitäten steht hier ein schroffer Wechsel im Gehalt der verschiedenen Zonen gegenüber. Außerdem tritt hier deutlich ein für die Ernährung nicht mehr ausreichendes Minimum auf, das etwa von 2 % abwärts gelegen ist, während ein Zuviel an Humussubstanz von etwa 5 % aufwärts gegeben ist. Daß schon ein verhältnismäßig normaler Humusgehalt für die Pflanze durch seine Form schädlich wirken kann, zeigt das wegen seines hohen Ton- und Kolloidgehalts bekannte Profil Nr. 6, dessen schlechte Wuchsleistung wohl vor allem auf den schlechten Humuszustand zurückgeführt werden muß.

Waldbäume notwendige Stickstoff diesen alljährlich zur Verfügung stehe." Lang sagt dort weiterhin, daß die Bedeutung der Streu in trockeneren Gebieten im wesentlichen in ihrer wasserhaltenden Kraft liege. Für feuchte Gebiete sei dem Nährstoffwert des Rohhumus, insbesondere in Bezug auf seinen Stickstoffgehalt, mit Recht kein Einfluß zuzugestehen.

Ganz allgemein läßt sich somit sagen, daß es bei der Rolle, die der Humus im Boden spielt, mehr auf seine regelmäßige Verteilung durch das ganze Profil und innerhalb der einzelnen Zonen als auf seine absolute Menge ankommt, und daß seine Qualität außerdem noch eine nicht unerhebliche Rolle spielt [12]). Eine so geradlinige Beziehung zwischen Humusmenge und Ertragsleistung, wie sie verschiedentlich angenommen wird [13]), gilt für dieses Wuchsgebiet nicht, und ist auch nach dem Minimum-Maximum-Gesetz kaum denkbar.

Zusammenfassung und Schluß.

In vorliegender Arbeit wurden Fichtenstandorte extremer Wuchsleistung im Hinblick auf den Korngrößenaufbau, das hygroskopisch gebundene Wasser, die Azidität und den Humusgehalt ihrer Böden untersucht.

Für alle Urgebirgsböden ist die Zusammensetzung der Feinerde im großen und ganzen gleich, nur der Kiesanteil ändert sich mit der Bonität, so daß mit steigendem Kiesgehalt diese fällt. Ein Ausgleich der einzelnen Korngruppen bis zu einem gewissen Grade ist jedoch möglich. Buntsandsteinböden von mittlerer Zusammensetzung tragen im allgemeinen gute Bonitäten, eine Abnahme kann bei Zunahme des Grobsands oder Schluffs erfolgen. Aus den Zahlen geht hervor, daß nicht nur die Quantität, besonders der abschlämmbaren Teile, eine Rolle spielt. Die Daten der Schlämmanalyse können daher nicht immer genügenden Aufschluß über einen Boden gewähren. Eine Beziehung zwischen ihnen und den jeweiligen Wasserverhältnissen des Bodens m u ß also nicht bestehen. Es wird angenommen, daß gerade das für die Pflanzen jeweils zur Verfügung stehende Wasser für die Wuchsleistung der Buntsandsteinböden des Schwarzwaldes eine ausschlaggebende Rolle spielt [1]).

An Ton- und Kolloidteilchen sind Urgebirgsböden verhältnismäßig reicher als Buntsandsteinböden.

---

[12]) In diesem Zusammenhang sei auch an die Schwarzerdeböden und an die forstlich sehr wenig ertragsreichen Humuskarbonatböden des weißen Juras erinnert.

[13]) Valmari, Beiträge zur chemischen Bodenanalyse, Act. for. Fenn. 20 (1921) findet eine Abnahme des Glühverlustes bei abnehmendem Waldtyp und I. Ilvessalo beobachtet eine Zuwachssteigerung bei Vergrößerung des Glühverlustes. Siehe Act. for. Fenn 25 (1923). Ein Beitrag zur Frage der Korrelation zwischen den Eigenschaften des Bodens und dem Zuwachs des Waldbestands.

[1]) s. im Gegensatz dazu W. Stahl, der Wasserhaushalt von Verwitterungsböden des Buntsandsteines in Fichten- und Buchenbeständen. Mitt. a. Fwt. u. Fws. 1933, S. 525.

Die Unterschiede der Azidität von Böden extremer Wuchsleistung gleichen sich im allgemeinen nach der Tiefe zu aus, so daß die tiefsten Wurzeln jeweils in ein Medium ähnlicher Azidität reichen. Die aus der Arbeit Franks abgeleitete Grenze der aktiven Azidität für Standorte guter Wuchsleistung von pH 4,6 fand sich für beide Böden bestätigt. Bei Urgebirgsböden war es außerdem möglich, etwa geltende Grenzwerte für die aktive Titrationsazidität aufzustellen. Bei Buntsandsteinböden solche der pH- Zahl der Austauschazidität.

Für den Humusgehalt der Urgebirgsböden ist ein Optimum zu ersehen, dessen Überschreitung nach einem Maximum zu eine Wachstumsminderung bedingen kann. Bei Buntsandsteinböden ist neben einem Optimum, dessen Werte jedoch niederer liegen als bei Urgebirgsböden, ein Minimum und ein Maximum zu verzeichnen. Verteilung und Zustand des Humus scheinen im allgemeinen wichtiger als seine Menge.

Zur Charakterisierung eines Bodens als Pflanzenstandort genügt es nicht, Resultate einer einzigen Untersuchung heranzuziehen. Es müssen möglichst viele Faktoren bestimmt und die einzelnen Daten gegeneinander abgewogen werden.

Wenn sich bei den Untersuchungen die Standorte extremer Bonitäten in den erhaltenen Zahlenwerten unterscheiden, so zeigt das, daß solche Wachstumsfaktoren untersucht worden sind, die im Gesamteinfluß aller auf die Fichte eine besondere Rolle spielen und für die in gewissen Fällen ein wachstumsbeschränkender Charakter anzunehmen ist. Es hat sich ferner gezeigt, daß im allgemeinen — normale klimatische Verhältnisse vorausgesetzt — eine genauere Korngrößenuntersuchung zusammen mit einer Azidität sbestimmung genügt, um eine orientierende Kenntnis über die Wachstumsmöglichkeiten eines Bodens in Bezug auf die Fichte zu erhalten. Damit ist zugleich gesagt, daß es allein auf Grund dieser Zahlen nicht zulässig ist, Kausalzusammenhänge zwischen den Standorten und ihrer Wuchsleistung herzustellen. Solche Zusammenhänge aufzuzeigen, wird vielmehr auch fernerhin versagt sein. Allein „statistische Gesetze“ [2]) werden sich aus einem großen Zahlenmaterial ableiten lassen. Dabei ist der alte Weg des Eindringens in die Natur allein auf kausalen Kettenreihen aufgehoben in des Wortes dreifacher Bedeutung: verlassen, vertieft und damit in einem neuen Sinne gültig. Die Grundlage dieser Gesetze — ein exaktes Zahlenmaterial — wird auch in Zukunft nicht leicht aufzustellen sein, und zwar aus drei Gründen: 1. Weil der

[2]) Max Planck, Wege zur physikalischen Erkenntnis, 1934, S. 238.

Faktor „Standort“ eine komplexe Größe ist, deren jeweilige Komponenten im einzelnen Fall nicht genügend bekannt sind. 2. Weil die Pflanze als Lebewesen die Fähigkeit hat, sich an gegebene Verhältnisse bis zu einem gewissen Grade anzupassen und 3. weil unsere Kenntnis über die wachstumsbedingenden Faktoren noch unzulänglich, die Methoden zur Bestimmung einiger bekannter Faktoren noch zu ungenau sind.

Abkürzungen.

Act. for. Fenn.	Acta forestalia fennica.
A. F. u. J. Z.	Allgemeine Forst- und Jagdzeitung.
Beih. z. bot. Ctrbl.	Beihefte zum botanischen Centralblatt.
Biederm. Ztrbl.	Biedermanns Zentralblatt.
Ctrbl. f. d. g. Fw.	Centralblatt für das gesamte Forstwesen.
Fortschr. f. Landw.	Fortschritte der Landwirtschaft.
Fw. Ctrbl.	Forstwissenschaftliches Centralblatt.
Geol. Rdsch.	Geologische Rundschau.
H. d. B.	Handbuch der Bodenlehre.
H. d. F.	Handbuch der Forstwissenschaft.
I. M. f. B.	Internationale Mitteilungen für Bodenkunde.
Landw. Jahrb.	Landwirtschaftliche Jahrbücher.
Landw. Vers. Stat.	Die landwirtschaftlichen Versuchsstationen.
Mitt. a. Fwt. u. Fws.	Mitteilungen aus Forstwirtschaft und Forstwissenschaft.
Mitt. d. schweiz. Centr. Anst. f. d. f. Versw.	Mitteilungen der schweizer Centralanstalt für das forstliche Versuchswesen.
Schweiz. Z. f. F.	Schweizer Zeitschrift für Forstwesen.
W. a. F. u. J. Z.	Wiener allgemeine Forst- und Jagdzeitung.
Z. f. F. u. J.	Zeitschrift für Forst- und Jagdwesen.
Z. f. P. u. D.	Zeitschrift für Pflanzenernährung und Düngung.
Z. f. P. D. u. B.	Zeitschrift für Pflanzenernährung, Düngung und Bodenkunde.
Ztrbl. f. Bakt.	Zentralblatt für Bakteriologie.

Lebenslauf.

Ich, Friedrich Ernst Loebich, wurde am 31. Dezember 1906 als Sohn des damaligen Pfarrers Adolf Loebich und seiner Frau geb. Hartmann in Dürrwangen-Wttbg. geboren. Von 1916 bis 1925 besuchte ich das Eberhard-Ludwigs-Gymnasium zu Stuttgart. Von S. S. 1925 bis W. S. 1929/30 war ich als Student der Naturwissenschaften und der Forstwissenschaft an der Technischen Hochschule in Stuttgart, der Hochschule für Bodenkultur in Wien und der Universität in Freiburg i. Br. immatrikuliert. Frühjahr 1930 machte ich das erste, Dezember 1932 das zweite Staatsexamen. Der experimentelle Teil der Arbeit wurde am Institut für Bodenkunde in Freiburg i. Br. im S. S. 1930 und im W. S. 1930/31 ausgeführt Fertiggestellt wurde die Arbeit größtenteils im S. S. 1933. Dazwischen war ich den Forstämtern Schöntal, Stammheim und Stuttgart zur Ausbildung zugeteilt. Im Herbst 1933 kam ich zur Unterstützung zum Forstamt Lichtenstern.